



**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU
MESTRADO EM CIÊNCIAS ODONTOLÓGICAS INTEGRADAS**

FRANCISNELE MARIA DE AQUINO FRAPORTI TOMÁZ

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE
MATERIAIS DE FIXAÇÃO INTERNA DE FRATURAS
FACIAIS**

Cuiabá
2016

FRANCISNELE MARIA DE AQUINO FRAPORTI TOMÁZ

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE
MATERIAIS DE FIXAÇÃO INTERNA DE FRATURAS
FACIAIS**

Dissertação apresentada à UNIC, para a obtenção do
título de Mestre em Ciências Odontológicas Integradas.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes
Co-orientador: Prof. Dr. Alexandre Meireles Borba

Cuiabá

2016

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais para Catalogação na Publicação (CIP)

Bibliotecária: Elizabete Luciano/CRB1-2103

T655c Tomáz, Francisnele Maria de Aquino Fraporti

Caracterização Química e Estrutural de Materiais de Fixação Interna de Fraturas Faciais./ Francisnele Maria de Aquino Fraporti Tomáz. Cuiabá-MT, 2016. 70p.

Dissertação apresentada à UNIC – Universidade de Cuiabá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Odontológicas Integradas.

Orientador: Prof. Orlando Aguirre Guedes

1.Caracterização Química e Estrutural de Materiais de Fixação Interna de Fraturas Faciais. 2.Revisão de Literatura.

CDU: 616.314

FRANCISNELE MARIA DE AQUINO FRAPORTI TOMÁZ

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE MATERIAIS DE FIXAÇÃO
INTERNA DE FRATURAS FACIAIS

Dissertação apresentada à UNIC, no Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas, área e concentração em Odontologia para a obtenção do título de Mestre conferida pela Banca Examinadora formada pelos professores:

Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes
UNIC

Prof. Dr. Álvaro Henrique Borges
UNIC

Profa. Dra. Suzane A Raslan
UNIVAG

Cuiabá, 02 de Maio de 2016.

A Deus por fazer de mim instrumento de
Tua vitória. Aos Mestres do astral, que me
orientam nessa vida. Aos meus pais e
filhos, pelo amor incondicional.

AGRADECIMENTOS

À Deus e aos Mestres do astral, pela vida, pelas bênçãos diárias, pela força e equilíbrio, e pela fé que me sustentam.

Aos meus pais José e Pérola, que me ensinaram entre tantos valores a servir ao próximo e a ter fé. Pelo exemplo de vida e por não medirem esforços para minha felicidade independente da circunstância. Serei grata por toda eternidade!

Ao meu esposo Jonatas, amigo e companheiro de todas as horas, pelo carinho e amor, pelo respeito nas minhas decisões e principalmente pela compreensão nas minhas ausências.

Aos meus filhos José Roque e César, que são a mais pura fonte de inspiração para minhas lutas diárias. Por cada sorriso inocente mesmo em momentos de tristeza e por me ensinarem o verdadeiro sentido da vida.

Ao meu irmão Frank, pelo incentivo e apoio constantes. Pelo exemplo de profissional e honestidade.

Aos meus sogros Elias e Mylla pelo apoio sincero.

À minha avó Sileide, grande guerreira! Pelo carinho e exemplo de mulher.

Aos meus avós que deixaram saudades e estão olhando por mim em outro plano.

Aos demais familiares que torcem pela minha vitória.

Aos amigos e amigas de longa data, e aos que se revelaram ao longo desse tempo, pelo companheirismo.

Aos colegas de trabalho, pela parceria e aprendizado constante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Orlando Aguirre Guedes, pelo privilégio de ser sua orientada, por acreditar no meu potencial, pela humildade e valiosa orientação, pela infinita paciência e sensibilidade que o diferencia como educador.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Alexandre Meireles Borba, pela disponibilização do seu conhecimento e oportunidade de continuar seguindo seus ensinamentos.

Aos Professores Doutores do Programa de Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas da Universidade de Cuiabá, pelas experiências e ensinamentos, e por contribuírem para meu novo olhar profissional: Alessandra Nogueira Porto, Alex Semenoff Segundo, Alexandre Meireles Borba, Álvaro Henrique Borges, Andreza Maria Fábio Aranha, Artur Aburad de Carvalhosa, Cyntia Rodrigues de Araujo Estrela, Evanice Menezes Marçal Vieira, Fábio Luís Miranda Pedro, Luiz Evaristo Ricci Volpato, Mateus Rodrigues Tonetto, Matheus Coelho Bandéca, Orlando Aguirre Guedes, Suzane A. Raslan e Tereza Aparecida D. V. Semenoff.

Aos colegas de mestrado, pelos adoráveis momentos no decorrer desta jornada.

Ao Diretor da Faculdade de Odontologia da Universidade de Cuiabá, Prof. Dr. Fábio

Luis Miranda Pedro, pelo incentivo na minha nova jornada e por propiciar ensino e aprimoramento ao longo desses anos.

Ao Reitor da Universidade de Cuiabá – UNIC, Fernando Ciriaco Dias Neto.

Ao Pró Reitor Acadêmico da Universidade de Cuiabá, José Cláudio Perecin.

Ao Diretor de Pós-Graduação Stricto Sensu da Kroton, Dr. Helio Suguimoto.

À Coordenadora de Pesquisa e Pós-Graduação - Stricto Sensu da Universidade de Cuiabá, Lucélia de Oliveira Santos.

Ao Coordenador do Mestrado em Ciências Odontológicas Integradas da Universidade de Cuiabá, Prof. Dr. Álvaro Henrique Borges.

À Cátia Balduino Ferreira pela paciência ao longo desses meses.

Aos Professores Doutores: Andreza Aranha e Álvaro Henrique, membros das bancas de pré-projeto e qualificação, por aceitarem o convite e pelas valiosas contribuições advindas de suas expertises, contribuindo para a realização deste trabalho.

Aos fornecedores de material de fixação interna que colaboraram com as amostras desta pesquisa, tornando viável a realização desta: Maria Do Carmo, Lucélia e Thiago Porto.

À equipe do Laboratório Multiusuário de Microscopia de Alta Resolução da Universidade Federal de Goiás pela prontidão, gentileza e brilhante trabalho realizado.

Aos leitores, que dedicaram seu tempo à leitura este trabalho.

A todos que de certa forma contribuíram para a realização e sucesso desta pesquisa, os meus sinceros agradecimentos.

“Em todo instante, confio em Deus. No que faço, penso em Deus. Com quem vivo, amo a Deus. Por onde sigo, sigo com Deus. No que acontece, Deus faz o melhor. Tudo o que tenho, é bênção de Deus.”

(Chico Xavier)



RESUMO

RESUMO

TOMÁZ, F.M.A.F. **Caracterização química e estrutural de materiais de fixação interna de fraturas faciais**. 2016. 71 f. Dissertação (Mestrado) Pós-Graduação em Ciências Odontológicas Integradas, Universidade de Cuiabá-UNIC, Cuiabá, 2016.

Objetivo: Analisar a morfologia da superfície e a constituição química de materiais de fixação interna utilizados no tratamento de fraturas faciais por meio de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX). **Material e método:** 27 placas e 21 parafusos, de 2.0 mm de diâmetro, foram distribuídos em seis grupos experimentais de acordo com o fabricante: G1- Toride®; G2- Engimplan®; G3- MDT®; G4- Promm®; G5- Osteomed® e G6- Stryker®. As amostras foram levadas ao MEV, sendo a morfologia da superfície externa analisada qualitativamente em imagens obtidas com aumento de 30 a 1000X. A superfície foi descrita de acordo com a sua regularidade e presença de defeitos. A análise constitutiva foi realizada por meio de EDX. Mensurações foram conduzidas em 3 diferentes regiões das placas e na região central das roscas dos parafusos. Os elementos químicos foram quantificados e apresentados em porcentagem de peso atômico (%p). **Resultados:** A superfície de todas as placas apresentou-se com aspecto irregular. Defeitos de fabricação não foram observados apenas nas placas Osteomed® e Stryker®. Os principais componentes encontrados nas placas foram: titânio (Ti; 98,64%p), silício (Si; 0,83%p) e alumínio (Al; 0,48%p). O elemento fósforo (P; 0,04%p) foi encontrado apenas na placa Stryker®. Os parafusos apresentaram superfície regular e defeitos tanto na cabeça quanto nas roscas. A maioria dos parafusos apresentou picos de Ti e Al. Traços de vanádio (V) foram identificados nos parafusos Stryker® e Toride®. Parafusos Promm® eram constituídos apenas por Ti. **Conclusão:** As placas e parafusos analisados apresentaram superfícies com diferentes aspectos e defeitos de fabricação. Observou-se discrepância entre os elementos encontrados e os principais componentes descritos pelos fabricantes.

Palavras-Chave: Fraturas maxilomandibulares. Fixação interna de fraturas. Placas ósseas. Parafusos ósseos. Microscopia eletrônica de varredura. Espectroscopia de emissão de raios-x.



ABSTRACT

ABSTRACT

TOMÁZ, F.M.A.F. **Chemical and structural characterization of internal fixation materials of facial fractures**. 2016. 71 f. Dissertation (Master's Program) - Integrated Dental Science Postgraduation, Universidade de Cuiabá-UNIC, Cuiabá, 2016.

Objective: To analyze the surface morphology and chemical constitution of internal fixation materials used in facial fractures treatment through Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis. **Material and method:** 27 plates and 21 screws of 2.0 mm diameters, were distributed in six experimental groups according to manufacturers: G1- Toride®; G2- Engimplan®; G3- MDT®; G4- Promm®; G5- Osteomed® e G6- Stryker®. The samples were taken to SEM, being the external surface morphology analyzed qualitatively through images obtained by magnifying them 30 to 1000 times. The surface was described according to its regularity and incidence of imperfection. The constitutive analysis was made through EDX. Measuring was carried out in 3 different areas of the plates and in the middle area of screws threads. The chemical elements were quantified and presented in atomic weight percentage (%p). **Results:** All plates surfaces have presented irregular aspect. Manufacturing faults were not observed only on Osteomed® e Stryker® plates. The main components found in the plates were: titanium (Ti; 98,64%p), silicon (Si; 0,83%p) and aluminum (Al; 0,48%p). The element phosphorous (P; 0,04%p) was found only in Stryker® plates. The screws presented regular surface and faults both on head and threads. Most screws presented Ti and Al summits. Traces of vanadium (V) were identified in Stryker® and Toride® screws. Promm® screws were made of Ti. **Conclusion:** The plates and screws analyzed presented surfaces with different aspects and manufacturing fault. Divergence between the elements found and main components described by manufacturers were observed.

Keywords: Maxilomandibular fractures. Internal fracture fixation. Bone plates. Bone screws. Scanning electron microscopy. Energy dispersive X-ray spectrometry.



LISTA DE TABELAS

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** - Demonstração dos modelos e composições químicas dos sistemas de fixação interna descritos pelos fabricantes..... 29
- Tabela 2** - Demonstração dos elementos encontrados (média e desvio padrão) nas placas analisadas por espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX)..... 36



LISTA DE FIGURAS

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 -** Esquema ilustrativo das regiões de realização das mensurações por EDX: (A) margem externa da placa; (B) segmento central da placa; (C) margem externa da placa; (D) região central do corpo (rosca) do parafuso..... 31
- Figura 2 -** Imagem de MEV mostrando aspectos morfológicos das superfícies das placas testadas: o orifício de inserção do parafuso, superfície plana, e irregularidade da superfície. Toride®: A (30x), B (30x) e C (300x); Engimplan®: D (30x), E (30x) e F (250x); MDT® reta: G (30x), H (30x) e I (300x); Promm®: J (30x), K (30x) e L (300x); Osteomed® reta com intermediário: M (30x), N (30x) e O (250x); Stryker®: P (30x), Q (30x) e R (250x)..... 34
- Figura 3 -** Imagem de MEV dos defeitos encontrados na superfície plana e orifícios das placas. Engimplan®: A (250x) fragmentos de metal, B (500x) arranhões e fragmentos de metal, C (250x) rebarbas e fragmentos de metal e D (500x) deformação e fragmentos de metal; MDT® reta: E (250x) e F (250x) rebarbas; MDT® reta com intermediário: G (300x) e H (500x) arranhões e I (250x) arranhões e rebarbas; Promm®: J (250x) deformação e rebarbas, K (250x) e L (250x) deformação e fragmentos de metal e M (1000x) área de corrosão; Osteomed® curva: N (250x) arranhões e Osteomed® reta com intemediário: O (250x) deformação..... 35
- Figura 4 -** Espectros representativos de EDX das placas testadas: (A) Toride®; (B) Engimplan®; (C) MDT®; (D) MDT® com intermediário; (E) Promm®; (F) Osteomed®; (G) Osteomed® curva; (H) Osteomed® com intermediário; (I) Stryker®..... 36
- Figura 5 -** Imagem de MEV em aumento de 30x, mostrando os aspectos morfológicos das superfícies dos parafusos testados: cabeça e corpo (rosca). Toride®: (A), (B) e (C); Engimplan®: (D), (E) e (F); MDT®: (G), (H) e (I); Promm®: (J), (K) e (L); Osteomed®: (M), (N) e (O); Stryker®: (P), (Q) e (R)..... 37

Figura 6 - Imagem de MEV dos defeitos encontrados nas cabeças e roscas dos parafusos. Toride®: A (230x) rebarbas e fragmentos de metal, B (230x) e C (230x) deformação; Engimplan®: D (230x) e G (230x) rebarbas, E (65x) rebarbas e deformação, F (230x) deformação; MDT® 6mm: H (230x) fragmentos de metal, I (230x) deformação e fragmentos de metal, J (60x) rebarbas e deformação e K (230x) rebarbas e fragmentos de metal; MDT® 10mm: L (230x) e M (230x) rebarbas e fragmentos de metal; Promm®: N (230x) rebarbas, O (230x), P (230x), Q (230x) e R (65x) fragmentos de metal; Osteomed®: S (230x) deformação e fragmentos de metal e T (230x) fragmentos de metal..... 38

Figura 7 - Espectro representativo de EDX dos parafusos testados: (A) Toride®; (B) Engimplan®; (C) MDT®; (D) Promm®; (E) Osteomed®; (F) Stryker®..... 39



LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

LISTAS DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
®	Marca registrada
Al	Alumínio
C	Carbono
Co	Cobalto
Cr	Cromo
Cr-Co	Cromo-cobalto
EAA	Espectrofotometria de absorção atômica
EDX	Espectroscopia de dispersão de raios-x
EFX	Espectroscopia fotoeletrônica de raios-x
H	Hidrogênio
INOX	Inoxidável
Kg	Quilograma
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
mm	Milímetros
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
N	Nitrogênio

Ni	Níquel
NiTi	Níquel-titânio
O	Oxigênio
°C	Graus celsius
Si	Silício
Sr	Estrôncio
Ti	Titânio
Ti6Al4V	Titânio-6alumínio-4vanádio
Ti-CP	Titânio comercialmente puro
V	Vanádio



SUMÁRIO

SUMÁRIO

1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE MATERIAIS DE FIXAÇÃO INTERNA DE FRATURAS FACIAIS.....	
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 OBJETIVOS.....	27
1.2.1 Objetivo Geral.....	27
1.2.2 Objetivos Específicos.....	27
1.3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	29
1.3.1 Materiais Testados.....	29
1.3.2 Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Dispersão de Raios-x (EDX).....	30
1.4 RESULTADOS.....	33
1.4.1 Placas.....	33
1.4.2 Parafusos.....	33
1.5 DISCUSSÃO.....	41
1.6 CONCLUSÕES.....	46
1.7 REFERÊNCIAS DO ARTIGO.....	48
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	52
2.1 REFERÊNCIAS DA REVISÃO DE LITERATURA.....	69



1 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E ESTRUTURAL DE MATERIAIS DE FIXAÇÃO INTERNA DE FRATURAS FACIAIS



1.1 INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO

Traumas envolvendo o complexo maxilofacial representam um dos principais problemas na saúde pública (BRASILEIRO & PASSERI, 2006; JIN *et al.*, 2013). Estudos têm reportado aumento considerável na incidência dessas lesões, com significativa ameaça à qualidade de vida de crianças, adolescentes e adultos (GASSNER *et al.*, 2003; KOTECHA *et al.*, 2008; SCARIOT *et al.*, 2009; CAVALCANTI *et al.*, 2010; CHRCANOVIC *et al.*, 2012).

Injúrias orais e maxilofaciais frequentemente resultam em danos aos tecidos moles, dentes e ossos da face (KOTECHA *et al.*, 2008). A mandíbula é o osso da face mais comumente envolvido nas fraturas faciais (GOMES *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2011). O tratamento da fratura mandibular envolve uma série de condutas, sendo a fixação interna, associação entre placas e parafusos, a modalidade terapêutica mais comumente indicada (SILVA *et al.*, 2011; EHRENFELD *et al.*, 2012). Sua aplicação requer intervenção cirúrgica, o que a torna um procedimento susceptível a possíveis complicações pós-operatórias (TANABE *et al.*, 2011; EHRENFELD *et al.*, 2012; PINTO *et al.*, 2015).

A topografia da superfície dos materiais cirúrgicos apresenta influência significativa sobre certas propriedades, como por exemplo, a resistência à flexão (TRIVELLATO *et al.*, 2000). Desde a sua introdução na Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofaciais, observam-se expressivas discussões e pesquisas sobre as propriedades físico-químicas e mecânicas e o comportamento desses materiais no interior dos tecidos faciais (YEUNG *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2016). As características do material de fixação interna para controlar a integração do material com o tecido mole ou duro circundante a ele está diretamente relacionado com a rugosidade da superfície e a sua composição química (EHRENFELD *et al.*, 2012). O rigor na qualidade durante a fabricação de placas e parafusos tem sido cuidadosamente debatido (RAY *et al.*, 1998), visto que defeitos na superfície de materiais de primeiro uso podem favorecer a ocorrência de fraturas durante a fase de instalação (KOSAKA *et al.*, 2003). Irregularidades pré-existentes na superfície externa podem constituir em fatores de risco, favorecendo o fracasso do tratamento cirúrgico (THEOLOGIE-LYGIDAKIS *et al.*, 2007).

Atualmente, as placas e parafusos utilizados na fixação interna são

fabricados a partir de diferentes ligas de titânio (Ti) (MENDES *et al.*, 2016). O emprego desse metal possibilitou o desenvolvimento de materiais com excelentes propriedades físicas e mecânicas (GOMES *et al.*, 2006; SILVA *et al.*, 2011), além de adequada biocompatibilidade (LANGFORD & FRAME, 2002a; PINTO *et al.*, 2015). No entanto, partículas metálicas podem ser liberadas durante a manipulação desses materiais, podendo ficar alojadas nos tecidos vizinhos (MATTHEW & FRAME, 1998; MATTHEW & FRAME, 2000). Observa-se na literatura relatos sobre a pigmentação de tecidos a partir da liberação de componentes de mini placas de Ti (RAY *et al.*, 1998). Matthew & Frame (1998) caracterizaram partículas metálicas liberadas de mini placas e parafusos de Champy em Ti e aço inoxidável (INOX). As amostras foram avaliadas em MEV e EDX. Nos tecidos que recobriam as mini placas e parafusos de Ti e aço INOX foram observados tecido pigmentado de cinza, sendo mais nos tecidos que recobriam os parafusos. Em todas as fases analisadas, fragmentos de metal foram identificados.

A composição química do material utilizado na fixação interna, distribuída em nível da estrutura de sua superfície pode caracterizar diferentes propriedades, uma vez que esta superfície possibilita interação entre o material e os tecidos com os quais mantém contato (DUGAL *et al.*, 2009). A biocompatibilidade pode ser diretamente afetada pela composição química do material, uma vez que a presença de compostos irritantes aos tecidos biológicos reduz a tolerância tecidual de um material (WEVER *et al.*, 1997). Desta maneira, o conhecimento da composição química da superfície dos materiais de fixação interna pode favorecer o entendimento da interação entre as propriedades biológicas e as físico-químicas (MENDES *et al.*, 2016).

Observa-se na literatura limitada informação sobre a constituição química e as características da superfície externa de placas e parafusos antes do seu uso cirúrgico. Assim, o objetivo do presente estudo foi analisar a morfologia da superfície externa por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a constituição química por meio da espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX), de placas e parafusos utilizados na fixação de fraturas faciais das diferentes marcas comerciais disponíveis no mercado: Toride[®], Engimplan[®], Osteomed[®], MDT[®], Stryker[®] e Promm[®].



1.2 OBJETIVOS

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 -Objetivo Geral

O objetivo do presente estudo foi analisar a morfologia da superfície e a constituição química de placas e parafusos utilizados na fixação de fraturas faciais.

1.2.2 - Objetivos Específicos

Analisar a constituição química por meio de EDX; analisar a regularidade da superfície e a presença de defeitos por meio de MEV de placas e parafusos de sistemas de fixação interna de 2.0 mm das marcas comerciais: Toride[®], Engimplan[®], MDT[®], Promm[®], Osteomed[®] e Stryker[®].



1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

1.3 MATERIAIS E MÉTODOS

1.3.1. Materiais Testados

O estudo realizado foi um estudo experimental in vitro cuja amostra era composta de 27 placas e 21 parafusos de seis sistemas de fixação interna (placas e parafusos) de 2.0 mm. Os materiais utilizados nos experimentos foram distribuídos em seis grupos de acordo com a procedência: G1 - Toride®, (Tóride Ind. e Com. Ltda., Mogi Mirim, SP, Brasil), G2 - Engimplan® (Engimplan Eng. de Implantes Ind. e Com. Rio Claro, SP, Brasil), G3 - MDT® (MDT Ind. e Com. Imp. e Exp. de Implantes SA, Rio Claro, SP, Brasil), G4 - Promm® (Promm Materiais Cirúrgicos, Porto Alegre, RS, Brasil), G5 - Osteomed® (OsteoMed, Dallas, TX, EUA), G6 - Stryker® (Stryker Corp. Brasil, São Paulo, SP, Brasil). Os modelos e as composições químicas dos materiais avaliados, de acordo com a descrição dos fabricantes, estão apresentados na Tabela 1. Os materiais selecionados para o presente estudo foram escolhidos por serem os mais comumente utilizados no tratamento das fraturas faciais.

Tabela 1 – Demonstração dos modelos e composições químicas dos sistemas de fixação interna descritos pelos fabricantes.

Marca	Sistema de fixação interna		Composição		Lote
	Placa n= 3	Parafuso n=3	Placa	Parafuso	
Toride®	Reta (4 furos)	8 mm	100% Ti	100% Ti	100413
Engimplan®	Reta (4 furos)	8 mm	100% Ti	100% Ti	31700
MDT®	Reta (4 furos)	6 mm	100% Ti	90%Ti, 4%Al,6%V	15511N
MDT®	Reta (4 furos + espaço)	10 mm	100% Ti	90%Ti, 4%Al,6%V	06143Q
Promm®	Reta (4 furos + espaço)	11 mm	-	-	59
Osteomed®	Reta (4 furos)	4 mm	100% Ti	90%Ti, 4%Al,6%V	-
Osteomed®	Reta (4 furos + espaço)	-	100% Ti	-	-
Osteomed®	Curva (6 furos)	-	100% Ti	-	-
Stryker®	Reta (4 furos)	10 mm	-	-	1000015441

Legendas: Ti – Titânio; Al – Alumínio; V - Vanádio

1.3.2. Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Espectroscopia de Dispersão de Raios-X (EDX)

As amostras foram preparadas em cuba odontológica ultrassônica e álcool isopropílico e foram fixadas em *stubs*, levadas diretamente ao microscópio eletrônico de varredura (MEV JSM-6610; Jeol Ltda. Tóquio, Japão), com tensão de 5 a 10 kV e distância de trabalho de 15 mm e examinadas, sem qualquer preparo e manipulação. A morfologia da superfície foi analisada qualitativamente em imagens obtidas com aumento de 30 a 1000X. A superfície foi descrita de acordo com sua regularidade (regular ou irregular) e com relação à presença de defeitos [arranhão, corrosão, fragmento de metal, deformação do metal, protuberância (rebarba)] (LANGFORD & FRAME, 2002b; THEOLOGIE-LYGIDAKIS *et al.*, 2007). Para determinação dos defeitos, um exame sistemático da superfície plana e dos orifícios dos parafusos na placas, bem como da cabeça e das roscas dos parafusos foi realizado.

A análise constitutiva foi desenvolvida por meio da espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX) com o auxílio do *software* NSS Spectral Analysis System 2.3 (Thermo Fisher Scientific Inc., Suwanee, GA, EUA). Mensurações foram conduzidas utilizando tensão de aceleração de 25 kV, corrente de feixe de 110 mA, 10⁻⁶ Torr de pressão (alto vácuo), área de análise de 130 x 130 mm, aumento de 1000X e 100 s de tempo de aquisição. Nas placas foram realizadas mensurações em 3 regiões selecionadas aleatoriamente e nos parafusos em apenas 1 região conforme descrição nas figuras 1A-C e 1D respectivamente. A análise elementar [porcentagem de peso atômico (%p) e a porcentagem atômica (%at)] foram realizadas em modo de análise não padrão, utilizando o método de correção PROZA (Phi-Rho-Z).

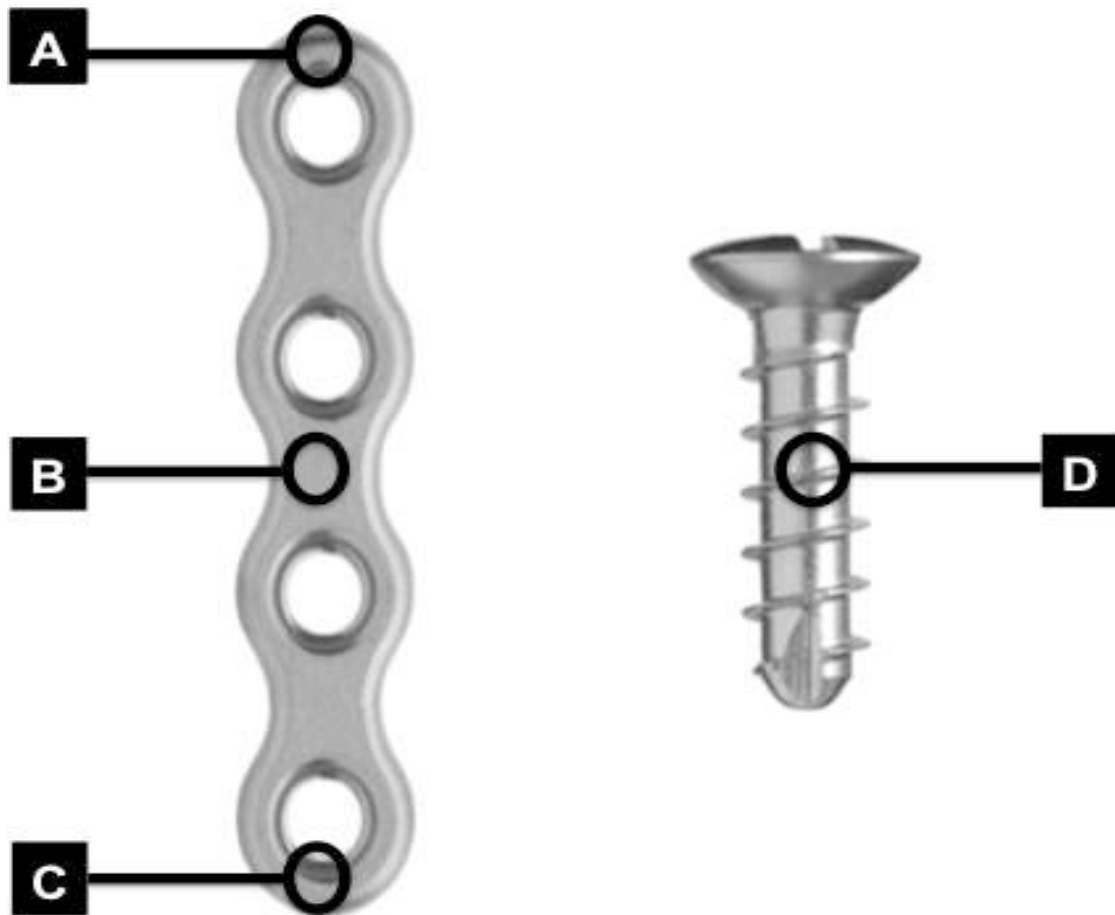


Figura 1 - Esquema ilustrativo das regiões de realização das mensurações por EDX: (A) margem externa da placa; (B) segmento central da placa; (C) margem externa da placa; (D) região central do corpo (rosca) do parafuso.



1.4 RESULTADOS

1.4 RESULTADOS

1.4.1. Placas

A figura 2 apresenta os aspectos morfológicos das superfícies das placas testadas. Todas as placas apresentavam superfície irregular. Não foi observada a presença de trincas nas placas. A figura 3 apresenta os principais defeitos encontrados nas placas. Defeitos de fabricação não foram observados apenas na superfície da placa Toride[®], Osteomed[®] reta de 4 furos e da placa Stryker[®]. Sinais de corrosão foram observados apenas na placa Promm[®] (Figura 3M).

Os principais componentes encontrados nas placas estão apresentados na Tabela 2. Essencialmente, os materiais eram formados por Ti (98,64%p), Si (0,83%p) e Al (0,48%p). O elemento P (0,04%p) foi encontrado apenas na placa Stryker[®]. Espectros representativos da análise por EDX estão apresentados na figura 5.

1.4.2. Parafusos

A figura 6 apresenta os aspectos morfológicos das superfícies dos parafusos testados. Verificou-se que todos os parafusos apresentavam superfície regular. Defeitos foram observados tanto na cabeça quanto nas roscas dos parafusos: Toride[®]; Engimplan[®]; MDT[®]; Promm[®] e Osteomed[®] (Figura 7), e não foram observados no parafusos Stryker[®].

Espectros representativos da análise por EDX são apresentados na figura 8. A composição química da maioria dos parafusos apresentou picos de Ti e Al, sendo que os parafusos da Promm[®] foram constituídos apenas por Ti. Foram identificados traços de vanádio (V) nos parafusos Stryker[®] e Toride[®], enquanto que o elemento P foi evidenciado apenas no parafuso Stryker[®].

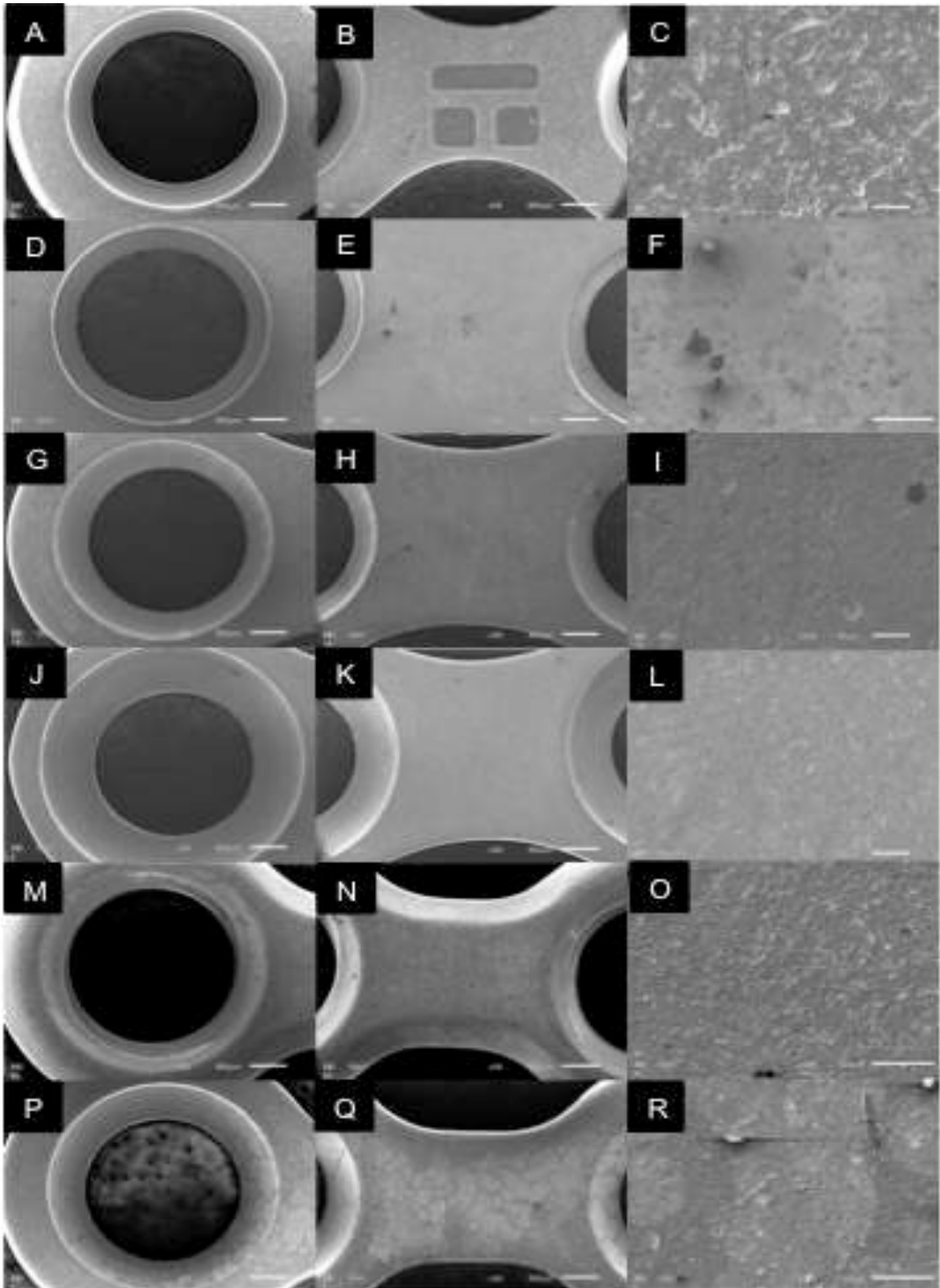


Figura 2 - Imagem de MEV mostrando aspectos morfológicos das superfícies das placas testadas: o orifício de inserção do parafuso, superfície plana, e irregularidade da superfície. Toride[®]: A (30x), B (30x) e C (300x); Engimplan[®]: D (30x), E (30x) e F (250x); MDT[®] reta: G (30x), H (30x) e I (300x); Promm[®]: J (30x), K (30x) e L (300x); Osteomed[®] reta com intermediário: M (30x), N (30x) e O (250x); Stryker[®]: P (30x), Q (30x) e R (250x).

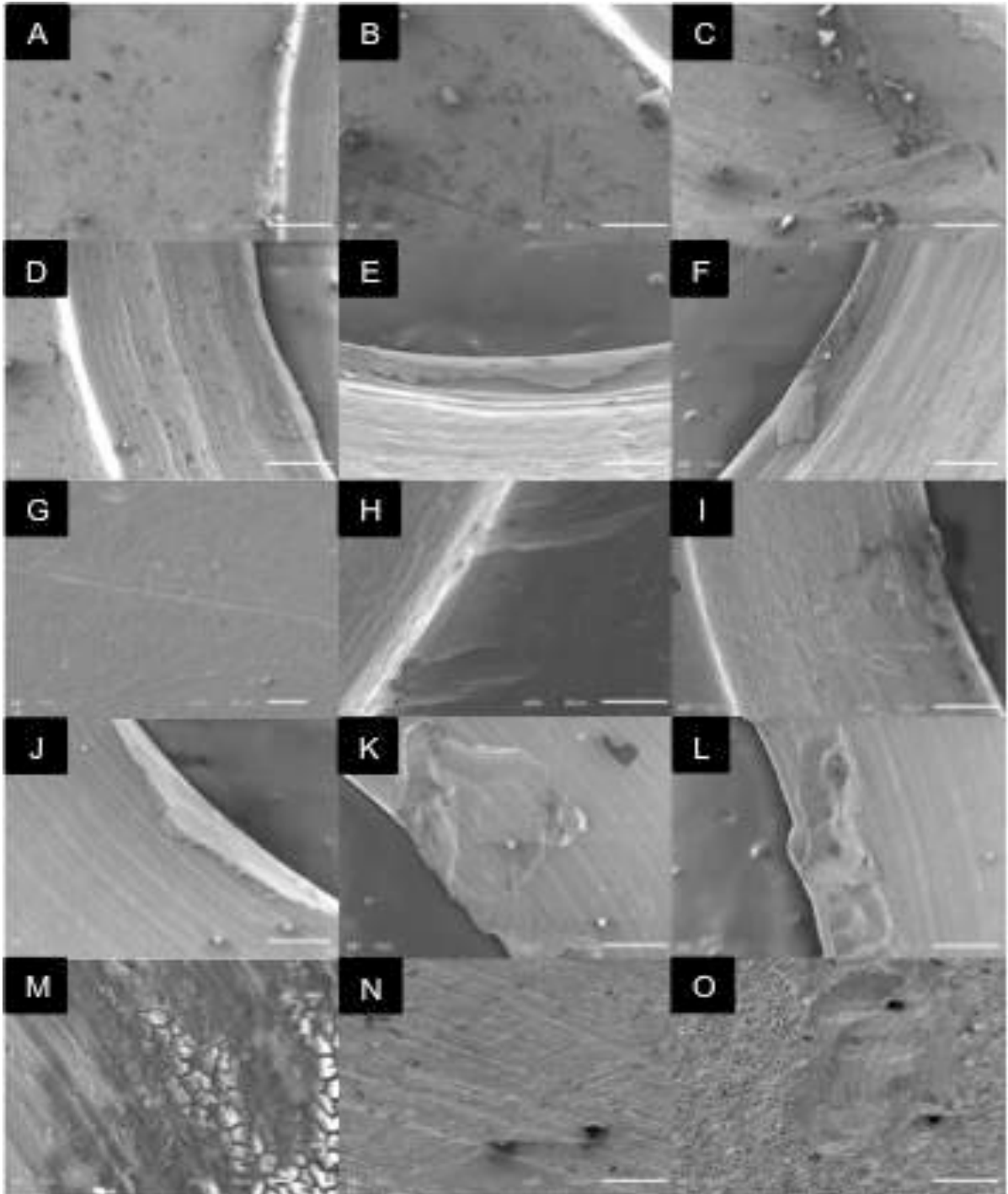


Figura 3 - Imagem de MEV dos defeitos encontrados na superfície plana e orifícios das placas. Engimplan[®]: A (250x) fragmentos de metal, B (500x) arranhões e fragmentos de metal, C (250x) rebarbas e fragmentos de metal e D (500x) deformação e fragmentos de metal; MDT[®] reta: E (250x) e F (250x) rebarbas; MDT[®] reta com intermediário: G (300x) e H (500x) arranhões e I (250x) arranhões e rebarbas; Promm[®]: J (250x) deformação e rebarbas, K (250x) e L (250x) deformação e fragmentos de metal e M (1000x) área de corrosão; Osteomed[®] curva: N (250x) arranhões e Osteomed[®] reta com intemediário: O (250x) deformação.

Tabela 2 – Demonstração dos elementos encontrados (média e desvio padrão) nas placas analisadas por espectroscopia de dispersão de raios-X (EDX).

Placas	Elementos químicos							
	Al		P		Si		Ti	
	%p	%at	%p	%at	%p	%at	%p	%at
Toride®	0,07 ± 0,10	0,13 ± 0,19	-	-	0,10 ± 0,15	0,18 ± 0,15	99,82 ± 0,13	99,69 ± 0,23
Engimplan®	0,85 ± 0,24	1,50 ± 0,41	-	-	0,71 ± 0,53	1,18 ± 0,89	98,44 ± 0,76	97,32 ± 1,28
MDT®	-	-	-	-	-	-	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00
MDT®***	-	-	-	-	-	-	100,00 ± 0,00	100,00 ± 0,00
Promm®	2,58 ± 1,49	4,43 ± 2,52	-	-	1,84 ± 0,63	3,04 ± 1,06	95,57 ± 0,87	92,53 ± 1,49
Osteomed®	0,37 ± 0,07	0,64 ± 0,12	-	-	2,77 ± 0,72	4,61 ± 1,18	96,86 ± 0,78	94,75 ± 1,29
Osteomed® **	0,20 ± 0,16	0,34 ± 0,27	-	-	1,55 ± 1,02	2,60 ± 1,70	98,25 ± 1,18	97,05 ± 1,96
Osteomed®*	0,15 ± 0,21	0,26 ± 0,36	-	-	0,52 ± 0,22	0,88 ± 0,38	99,33 ± 0,40	98,86 ± 0,70
Stryker®	0,15 ± 0,21	0,26 ± 0,36	0,43 ± 0,31	0,67 ± 0,47	-	-	99,52 ± 0,36	99,24 ± 0,56

Legendas: %p – porcentagem de peso atômico; %at – porcentagem atômica; ***placa MDT de 4 furos com intermediário; **placa Osteomed de 4 furos curva; *placa Osteomed de 4 furos com intermediário; Al – alumínio; P – fósforo; Si – sílica; Ti – titânio.

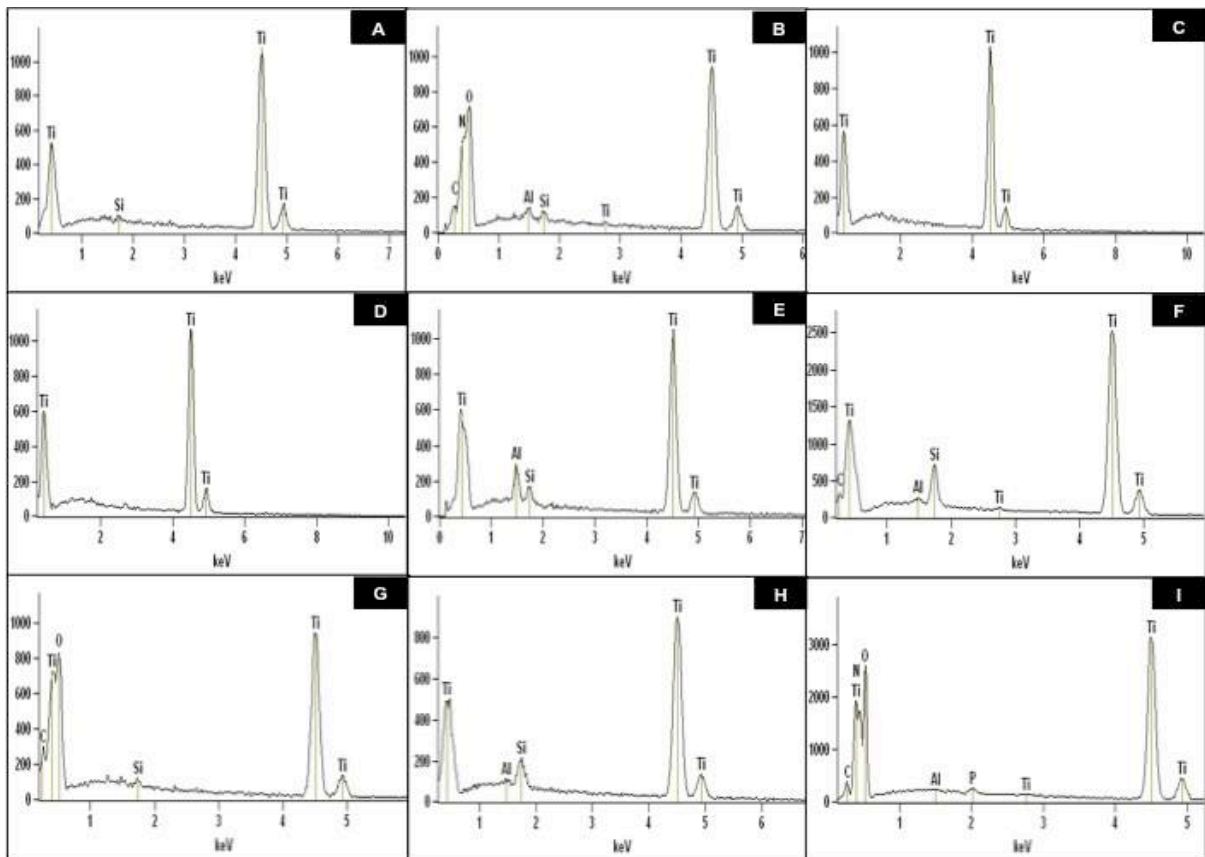


Figura 4 - Espectros representativos de EDX das placas testadas: (A) Toride®; (B) Engimplan®; (C) MDT®; (D) MDT® com intermediário; (E) Promm®; (F) Osteomed®; (G) Osteomed® curva; (H) Osteomed® com intermediário; (I) Stryker®.

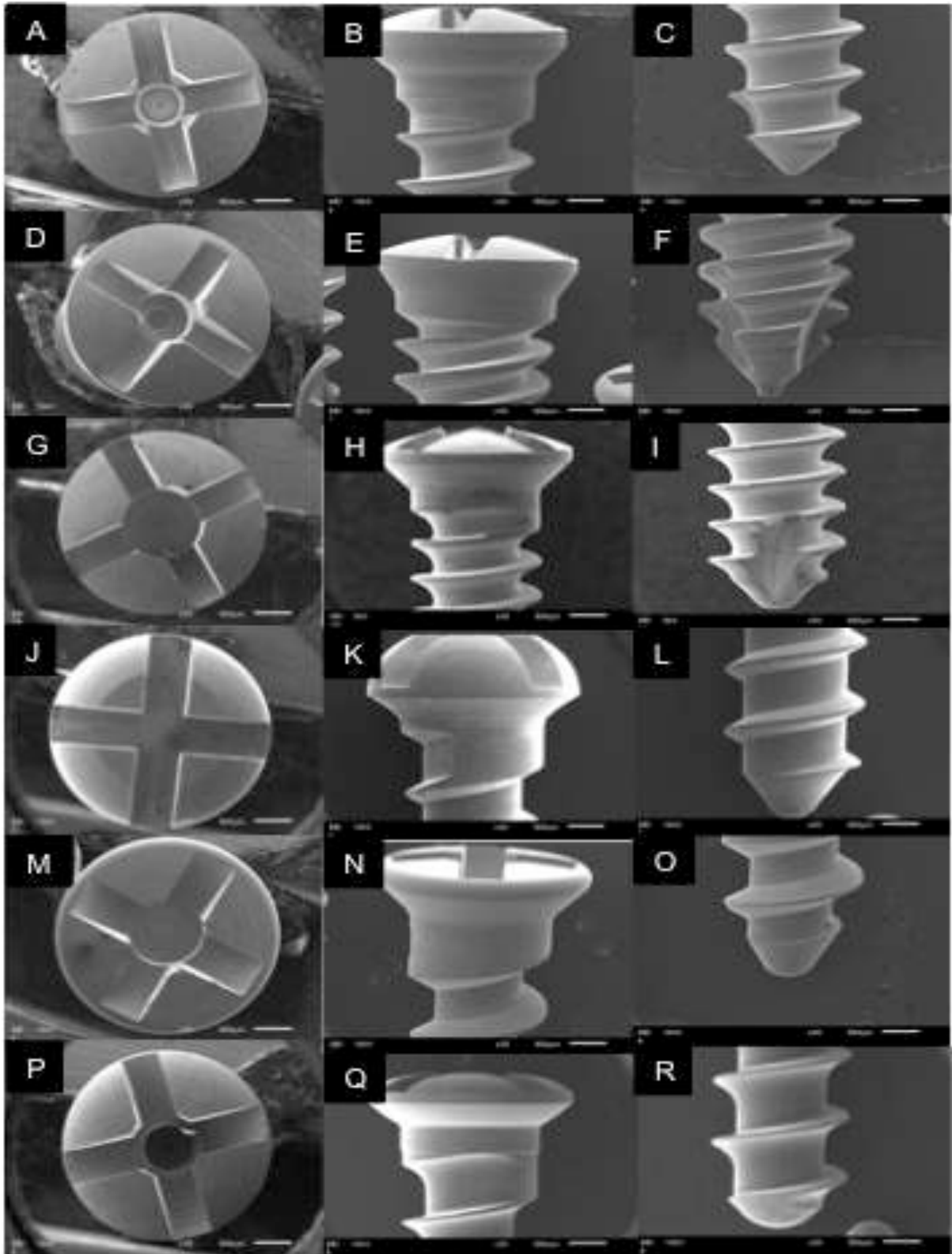


Figura 5 - Imagem de MEV em aumento de 30x, mostrando os aspectos morfológicos das superfícies dos parafusos testados: cabeça e corpo (rosca). Toride®: (A), (B) e (C); Engimplan®: (D), (E) e (F); MDT®: (G), (H) e (I); Promm®: (J), (K) e (L); Osteomed®: (M), (N) e (O); Stryker®: (P), (Q) e (R).

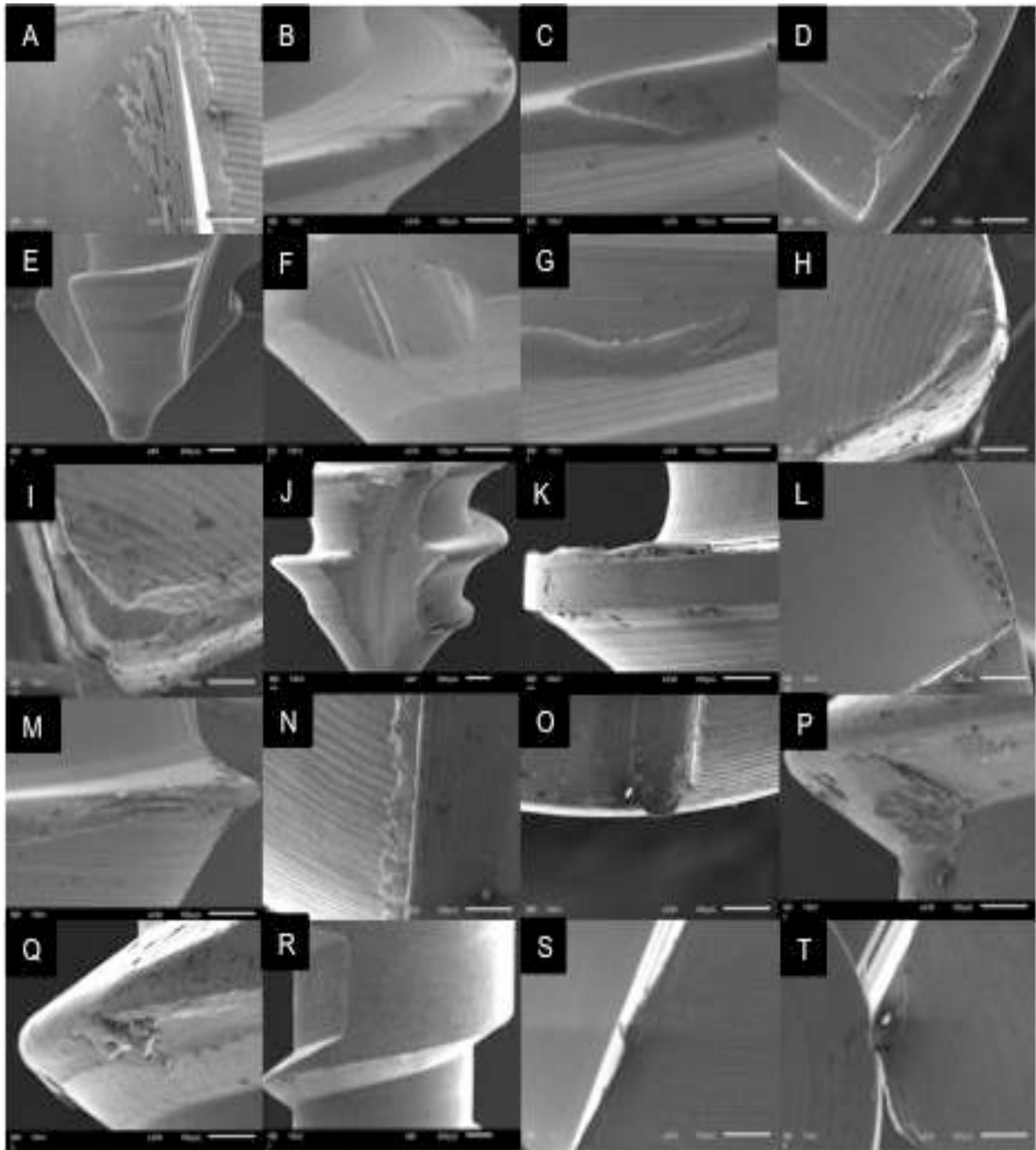


Figura 6 - Imagem de MEV dos defeitos encontrados nas cabeças e roscas dos parafusos. Toride®: A (230x) rebarbas e fragmentos de metal, B (230x) e C (230x) deformação; Engimplan®: D (230x) e G (230x) rebarbas, E (65x) rebarbas e deformação, F (230x) deformação; MDT® 6mm: H (230x) fragmentos de metal, I (230x) deformação e fragmentos de metal, J (60x) rebarbas e deformação e K (230x) rebarbas e fragmentos de metal; MDT® 10mm: L (230x) e M (230x) rebarbas e fragmentos de metal; Promm®: N (230x) rebarbas, O (230x), P (230x), Q (230x) e R (65x) fragmentos de metal; Osteomed®: S (230x) deformação e fragmentos de metal e T (230x) fragmentos de metal.

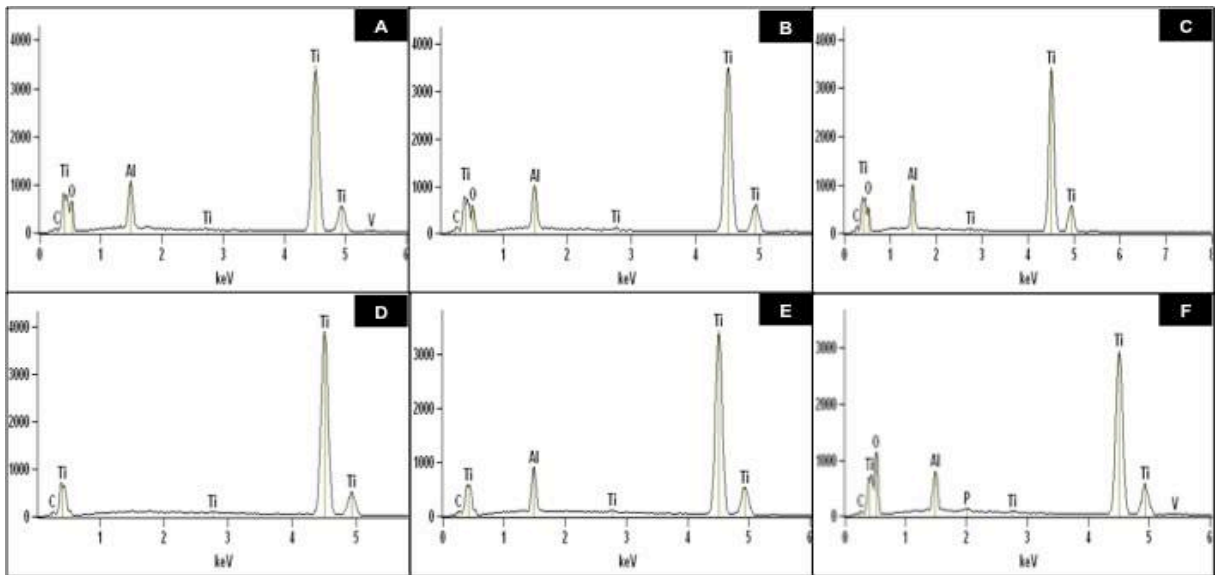


Figura 7 - Espectro representativo de EDX dos parafusos testados: (A) Toride®; (B) Engimplan®; (C) MDT®; (D) Promm®; (E) Osteomed®; (F) Stryker®.



1.5 DISCUSSÃO

1.5 DISCUSSÃO

Informações sobre as características de superfície e composição química dos materiais cirúrgicos que mantêm íntimo contato com os tecidos moles e mineralizados que compõem a região maxilofacial representam fator preditivo para o entendimento de suas propriedades físico-químicas e biológicas (TRIVELLATO *et al.*, 2000; THEOLOGIE-LYGIDAKIS *et al.*, 2007; MENDES *et al.*, 2016). Dessa forma, o conhecimento da morfologia da superfície externa bem como da composição química de placas e parafusos utilizados na fixação interna de fraturas faciais auxiliará no processo de seleção do melhor material à ser utilizado nas diferentes situações clínicas (MATTHEW *et al.*, 1996).

O controle de qualidade dos materiais empregados no tratamento das fraturas faciais é essencial (AZEVEDO & HIPPERT JR., 2002). Durante a aquisição e utilização desses materiais espera-se identificar a ausência de defeitos em sua superfície, uma vez que não é possível detectá-los ao exame macroscópico. Os resultados do presente estudo mostraram a ausência de defeitos de fabricação [arranhão, corrosão, fragmento de metal, deformação do metal, protuberância (rebarba)] nas placas Toride®, Osteomed® e Stryker® e nos parafusos Stryker® quando analisados por MEV. Porém, as placas Engimplan®, MDT® e Promm®, e os parafusos Toride®, Engimplan®, MDT®, Promm® e Osteomed® apresentaram defeitos e ausência de padronização à semelhança de outros estudos (MATTHEW *et al.*, 1996; TRIVELLATO *et al.*, 2000; LANGFORD & FRAME, 2002b). Matthew *et al.* (1996) avaliaram a superfície de mini placas e parafusos de Champy feitos de Ti e aço INOX utilizadas em fraturas mandibulares. Foram encontradas irregularidades como crateras, fissuras e depressões nas superfícies das mini placas removidas cirurgicamente. Estas irregularidades foram semelhantes às encontradas na superfície das mini placas do grupo controle, sugerindo que essas falhas podem ser oriundas da fabricação. Danos na superfície dos parafusos devido a manipulação foram observados. Algumas irregularidades foram encontradas na cabeça dos parafusos do grupo controle. Trivellato *et al.* (2000) realizaram um estudo macroscópico de placas e parafusos de Ti das marcas Engimplan®, Bucomax®, Synthes® e W. Lorenz® por meio da realização de medidas padronizadas. Os autores concluíram que as marcas Engimplan e Bucomax apresentaram comportamento inferior, em relação a padronização das dimensões de suas placas e

parafusos, o que influenciou negativamente nos testes de flexão. Langford & Frame (2002b) avaliaram a superfície de placas e parafusos de Ti utilizados em cirurgias maxilofaciais. Foram encontrados defeitos de fabricação em 4 das 18 placas, e 2 dos 10 parafusos; estes defeitos compreendem bordas ásperas e protuberâncias de metal que estavam localizadas sobre as cabeças dos parafusos e ao redor da borda dos orifícios dos parafusos nas placas. É importante destacar que cada marca apresenta características próprias em virtude do processo de fabricação das placas e parafusos, gerando materiais com padrão de qualidade variado.

A regularidade da superfície é característica importante que relaciona à adesão celular ao material, sendo portanto, fundamental para a avaliação da biocompatibilidade dos biomateriais (KOSAKA *et al.*, 2003; KRISCHAK *et al.*, 2004). A MEV tem se mostrado ferramenta importante no estudo do tamanho e/ou distribuição de partículas ou granulações presentes na superfície externa dos materiais odontológicos (ESTRELA *et al.*, 2012; GUEDES *et al.*, 2015). No presente estudo, as superfícies das placas e parafusos foram qualitativamente analisadas. A análise da superfície revelou que todas as placas apresentaram aspectos irregulares, especialmente a placa Toride® a qual apresentou-se com elevado número de irregularidades. Não foram observadas trincas nas superfícies dos materiais estudados. Em um estudo previamente publicado foi observada a presença de várias trincas na superfície de placas removidas cirurgicamente (MATTHEW *et al.*, 1996). A presença de trincas ou fendas facilitam os fenômenos de degradação da superfície dos materiais, de modo a permitir que os fluidos biológicos penetrem através da superfície (KRISCHAK *et al.*, 2004). No entanto, trincas podem ser produzidas por desidratação durante a preparação das amostras para avaliação por MEV (GUEDES *et al.*, 2015). Krischak *et al.* (2004) compararam as taxas de corrosão e liberação de metal entre placas de aço INOX e Ti-CP usadas em osteossíntese na ortopedia. As placas de aço INOX apresentaram maior extensão de corrosão; a absorção dos íons medidos aumentou após o uso das mesmas com concentrações de Fe, Cr, Ni e Mo elevadas. Nenhum material provocou reação de corpo estranho nos tecidos locais.

Os parafusos analisados neste estudo apresentaram superfícies regulares. Desta forma, pode-se esperar melhores resultados em termos de adesão celular nestes materiais de acordo com os estudos de Matthew & Frame (1998).

Entretanto, vale a pena ser destacado que outros fatores também afetam a adesão celular e a biocompatibilidade de um material, como por exemplo, a sua composição química. Este fato ressalta que os dados de regularidade de superfície não devem ser analisados de modo isolado. O mapeamento dos componentes permite revelar os elementos distribuídos ao longo da superfície externa dos materiais, a qual pode manter contato direto e influenciar as características das respostas biológicas dos tecidos.

EDX é um método reproduzível e preciso, que permite a realização de análises qualitativas e quantitativas dos principais componentes ou compostos presentes em um material ou associação de materiais (DAMMASCHKE *et al.*, 2005; ISLAM *et al.*, 2006; ESTRELA *et al.*, 2012; GUEDES *et al.*, 2015). Esta metodologia se baseia na interação entre partículas (radiação eletromagnética) e matéria e na análise dos raios-X emitidos (ASGARY *et al.*, 2006). Cada elemento químico apresenta estrutura atômica única, de modo que os raios-X emitidos são característicos dessa estrutura, e identificam esse elemento (VAUGHAN, 1999; GOLDSTEIN *et al.*, 2003; HEDGE *et al.*, 2012). No entanto, a EDX apresenta algumas limitações. Em alguns casos a interpretação dos resultados pode ser dificultada pela presença de radiação contínua ou pela sobreposição de elementos químicos (GOLDSTEIN *et al.*, 2003). Além disso, a proporção de eventos ionizantes, que resultam na emissão de raios-X, diminui à medida que o número do peso atômico do elemento torna-se menor. Assim, a quantificação de compostos orgânicos, que apresentam C, O e hidrogênio (H), não pode ser realizada com precisão (VAUGHAN *et al.*, 1999).

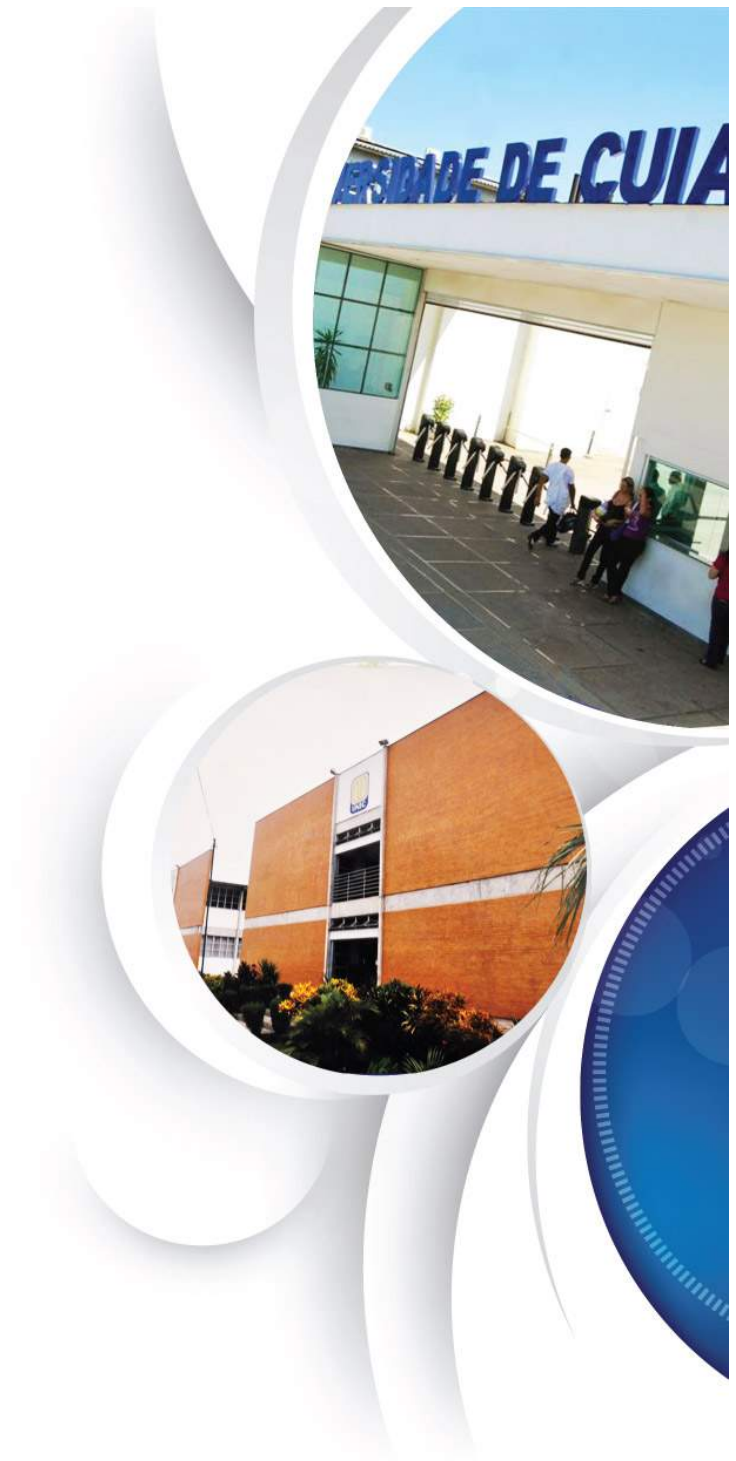
A microanálise por EDX revelou a existência de similaridade entre as placas Toride[®], Engimplan[®], Promm[®] e Osteomed[®] com relação a presença de Ti, Al e Si (Tabela 2). Este achado é condizente com os resultados obtidos por outros estudos que compararam a composição química desses materiais e observaram pequenas variações entre eles (MATTHEW & FRAME, 1998; TRIVELLATO *et al.*, 2000; LANGFORD & FRAME, 2002b). Com relação aos parafusos, a maioria apresentou picos de Ti e Al. Traços de V foram identificados nos parafusos Stryker[®] e Toride[®], enquanto que o elemento P foi evidenciado apenas no parafuso Stryker[®]. A presença do elemento V é justificada pelo tipo de liga utilizado. Geralmente, os parafusos são confeccionados com liga de Ti6Al4V, que de acordo com as normas

ASTM F 1108-97 (ASTM, 1997) e ISO / DIS 5832-3 (ISO/DIS, 1993) confere maior resistência à flexão quando comparado as ligas de titânio puro grau 1. SILVA *et al.* (1990) destaca que o uso combinado do titânio comercialmente puro e da liga Ti6Al4V é contraindicado em virtude da possibilidade de ocorrência de corrosão galvânica.

Elementos que não estavam descritos na base de composição dos fabricantes foram identificados. As placas Toride[®], Promm[®] e Osteomed[®] apresentaram traços de Si. Observou-se na placa e parafuso Stryker[®] traços de P. Estes resultados podem ser atribuídos à contaminação durante o processo de fabricação ou mesmo a reserva de mercado.

Vários elementos têm sido considerados agressivos às células humanas em determinadas concentrações (YEUNG *et al.*, 2007), como o Al. Com exceção da placa MDT[®], este elemento foi encontrado em todas as placas testadas, o que justifica os resultados sugestivos de citotoxicidade ou genotoxicidade (MATTHEW & FRAME, 2000).

Os resultados do presente estudo proporcionam uma compreensão sobre as interações existentes entre os materiais de fixação interna e os tecidos faciais. Tal entendimento deve auxiliar no desenvolvimento de novos materiais, com propriedades bem definidas, para uma ampla variedade de aplicações na cirurgia e traumatologia bucomaxilofacial.



1.6 CONCLUSÕES

1.6 CONCLUSÕES

Por meio da metodologia empregada foi possível concluir que:

1 - As placas e parafusos analisados apresentaram superfícies com diferentes aspectos e defeitos de fabricação.

2 - Observou-se discrepância entre os elementos encontrados e os principais elementos descritos pelos fabricantes.



1.7 REFERÊNCIAS DO ARTIGO

1.7 REFERÊNCIAS DO ARTIGO

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM): Standard specification for titanium- 6aluminum-4vanadium alloy castings for surgical implant (UNS R56406). Designation: F 1108–97. *In: Annual book of ASTM standards. Medical devices and services*, v. 13.01, p. 380-382, 1997.

ASGARY, S. et al. A qualitative X-ray analysis of white and grey mineral trioxide aggregate using compositional imaging. **J Mater Sci Mater Med.**, v. 17, n. 2, p. 187-91, 2006.

AZEVEDO, C. R. F.; HIPPERT JR., E. Análise de falhas de implantes cirúrgicos. **Cad. Saúde Pública**, v. 18, n. 5, p. 1347-1358, Set./Out., 2002.

BRASILEIRO, B. F.; PASSERI, L. A. Epidemiological analysis of maxillofacial fractures in Brazil: a 5-year prospective study. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.**, v. 102, p. 28-34, 2006.

CAVALCANTI, A. L. Et al. Maxillofacial injuries and dental trauma in patients aged 19-80 years, Recife, Brazil. **Rev Esp Cir Oral Maxilofac.**, v. 32, p. 11-6, 2010.

CHRCANOVIC, B. R. et al. 1,454 mandibular fractures: A 3-year study in a hospital in Belo Horizonte, Brazil. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 40, p. 116-23, 2012.

DAMMASCHKE, T. et al. Chemical and physical surface and bulk material characterization of white ProRoot MTA and two Portland cements. **Dent Mater.**, v. 21, p. 731-738, 2005.

DUGAL, A.; DADHE, D. P. Evaluation of metal release and local tissue response to indigenous stainless steel miniplates used in facial fractures. **J Maxillofac Oral Surg.**, v. 8, n. 4, p. 344-7, Dec. 2009.

EHRENFELD, M. et al. Principles of Internal Fixation of the Craniomaxillofacial Skeleton – Trauma and Orthognathic Surgery. **AOCMF**, 2012.

ESTRELA, C. et al. Characterization of calcium oxide in root perforation sealer materials. **Braz Dent J.**, v. 23, p. 539-546, 2012.

GASSNER, R. et al. Craniomaxillofacial trauma in children: a review of 3385 cases with 6060 injuries in 10 years. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 62, p. 399-407, 2004.

GOLDSTEIN, J. I. et al. Scanning electron microscopy and X-ray microanalysis. **Springer Science + Business Media**, 3rd. New York: 2003.

GOMES, P. P. Et al. A 5-year retrospective study of zygomatic-orbital complex and zygomatic arch fractures in São Paulo state, Brazil. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 64, p. 63-7, 2006.

GUEDES, O. A. et al. Chemical and structural characterization of glass ionomer cements indicated for atraumatic restorative treatment. **J Contemp Dent Pract.**, v. 16, n. 1, p. 61-7, Jan. 2015.

HEGDE, M. N.; DEVADIGA, D.; JEMSILY, P. A. Comparative evaluation of effect of acidic beverage on enamel surface pre-treated with various remineralizing agents: An in vitro study. **J Conserv Dent.**, v. 15, n. 4, p. 351-6, 2012.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION/DRAFT INTERNATIONAL STANDARDS (ISO/DIS) Implants for surgery – metallic materials – part 3: wrought titanium-6aluminium-4vanadium alloy. Reference number ISO/DIS 5832-3, 1993. p. 1-4.

ISLAM, I.; CHNG, H. K.; YAP, A. U. J. X-ray diffraction analysis of mineral trioxide aggregate and Portland cement. **Int Endod J.**, v. 39, p. 220-225, 2006.

JIN, Z. Analysis of 627 hospitalized maxillofacial-oral injuries in Xi'an, China. **Dent Traumatol.**, 2013.

KOSAKA, M. et al. Scanning electron microscopic observations of 'fractured' biodegradable plates and screws. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 31, n. 1, p. 10-4, Feb. 2003.

KOTECHA, S, et al. A four year retrospective study of 1062 patients presenting with maxillofacial emergencies at a specialist paediatric hospital. **Br J Oral Maxillofac Surg.**, p. 293-6, 2008.

KRISCHAK, G. D. et al. Difference in metallic wear distribution released from commercially pure titanium compared with stainless steel plates. **Arch Orthop Trauma Surg.**, v. 124, n. 2, p. 104-13, Mar. 2004.

LANGFORD, R. J.; FRAME, J. W. Surface analysis of titanium maxillofacial plates and screws retrieved from patients. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 31, n. 5, p. 511-8, Oct. 2002b.

MATTHEW, I. R. et al. In vivo surface analysis of titanium and stainless steel miniplates and screws. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 25, n. 6, p. 463-8, Dec. 1996.

MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Ultrastructural analysis of metal particles released from stainless steel and titanium miniplate components in an animal model. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 56, n. 1, p. 45-50, Jan. 1998.

MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Release of metal in vivo from stressed and nonstressed maxillofacial fracture plates and screws. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.**, v. 90, n. 1, p. 33-8, Jul. 2000.

MENDES, M. B. et al. Mechanical and microstructural properties of fixation systems used in oral and maxillofacial surgery. **Oral Maxillofac Surg.**, v. 20, n. 1, p. 85-90, Mar. 2016.

PINTO, C. M.; ASPRINO, L.; DE MORAES, M. Chemical and structural analyses of titanium plates retrieved from patients. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 44, n. 8, p. 1005-9, Aug. 2015.

RAY, M. S.; MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Metallic fragments on the surface of miniplates and screws before insertion. **Br J Oral Maxillofac Surg.**, v. 37, n. 1, p.

14-8, Feb. 1998.

SCARIOT, R. et al. Maxillofacial injuries in a group of Brazilian subjects under 18 years of age. **J Appl Oral Sci.**, v. 17, p. 195-8, 2009.

SILVA, R. A. et al. Electrochemistry of galvanic couples between carbon and common metallic biomaterials in the presence of crevices. **Biomaterials**, v. 11, n. 3, p. 336-340, Mar. 1990.

SILVA, J. J. L. et al. Fratura de mandíbula: estudo epidemiológico de 70 casos. **Rev. Bras. Cir. Plást.**, v. 26, n. 4, p. 645-8, 2011.

TANABE, M. N. et al. Indicações de remoção de material de síntese no complexo maxilofacial: revisão sistemática de literatura. **Revista de Odontologia da Universidade Cidade de São Paulo**, v. 23, n. 1, p. 46-50, 2011.

THEOLOGIE-LYGIDAKIS, N. et al. A retrieval study on morphological and chemical changes of titanium osteosynthesis plates and adjacent tissues. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 35, n. 3, p. 168-76, Apr. 2007.

TRIVELLATO, A. E. et al. Estudo químico, macroscópico e da resistência à flexão de placas e parafusos de titânio usados na fixação interna rígida. **Pesqui Odontol Bras.**, v. 14, n. 4, p. 392-398, out./dez. 2000.

VAUGHAN, D. Energy-dispersive X-ray microanalysis: An introduction. **Middleton: NORAN Instruments**, 1999.

YEUNG, K. W. et al. Surface mechanical properties, corrosion resistance, and cytocompatibility of nitrogen plasma-implanted nickel-titanium alloys: a comparative study with commonly used medical grade materials. **J Biomed Mater Res A.**, v. 82, n. 2, p. 403-14, Aug. 2007.



2 REVISÃO DE LITERATURA

2 REVISÃO DE LITERATURA

Moberg *et al.* (1989) investigaram a corrosão de implantes metálicos para estabilizar fraturas de mandíbula e a liberação de elementos nos tecidos circundantes. A amostra era composta de 7 macacos que foram submetidos a instalação de uma placa de quatro furos com dois parafusos na região de ângulo mandibular e o lado contralateral foi o controle. As placas eram compostas de cromo-cobalto (Cr-Co), cromo (Cr) e níquel (Ni) e titânio (Ti). O tecido em torno do material e o osso foram analisados para concentrações de cobalto (Co), Cr, Ni, molibdênio (Mo), alumínio (Al), e Ti por espectrofotometria de absorção atômica (EAA) e ativação radioquímica de nêutrons. Foram encontradas concentrações elevadas de todos os elementos nos tecidos circundantes das placas, exceto o Ti. Não foram observados sinais de corrosão, macroscópica ou microscopicamente na superfície dos implantes.

Bessho *et al.* (1995) examinaram a possibilidade de utilização de mini placas de Ti como um dispositivo de fixação permanente de fraturas. Foram examinados 50 coelhos submetidos a fratura mandibular lado esquerdo divididos em dois grupos: grupo fraturado, onde as fraturas foram reduzidas e fixadas com placas de Ti de Champy com 4 furos e parafusos de 5 mm; grupo não-fraturado (controle), o mesmo tipo de placas e parafusos foram fixadas na mesma região. As placas foram removidas nos períodos de 1, 3, 6, 12 e 24 meses após a instalação, sendo a amostra de 5 coelhos em cada tempo de remoção para cada grupo. As superfícies foram avaliadas em MEV e o teor de Ti em cada tecido foi medido com um EAA. Em ambos os grupos foram observadas corrosão das superfícies. A localização da corrosão nas placas variou entre os grupos. Foram observadas rachaduras nos orifícios centrais próximos as linhas de fratura, e no grupo sem fraturas estas alterações ocorreram nos furos das extremidades das placas. Não foi observado presença de Ti nos tecidos circundantes as placas dos dois grupos. Foram observadas concentrações elevadas de Ti nos tecidos do pulmão e fígado em ambos os grupos.

Tuncer *et al.* (1996) avaliaram a superfície e as características mecânicas de mini placas de Ti originais e utilizadas em fraturas mandibulares. Com uma amostra composta de 4 cães submetidos a fratura experimental na região de sínfise mandibular. Foram colocadas 2 mini placas e 8 parafusos em cada fratura que foram

removidas com 3 e 6 meses de pós-operatório. A amostra foi dividida em quatro grupos com 6 placas em cada: grupo A, placas originais (não utilizadas) como grupo controle; grupo B: placas originais dobrados como no procedimento cirúrgico, porém não deixadas no tecido; grupo C: placas removidas no terceiro mês de pós-operatório e grupo D, placas removidas no sexto mês de pós-operatório. As placas foram submetidas a testes para avaliação de dureza, resistência à tração e sob microscópio de luz para avaliar as diferenças na superfície. Não houve diferença na microestrutura das superfícies das placas analisadas ao microscópio de luz. Foram observadas diferenças nas características mecânicas. As placas do grupo D apresentaram maior dureza. Os valores da resistência à tração das placas foram reduzidos quando comparados com o grupo de controle.

Matthew *et al.* (1996) avaliaram a superfície de mini placas e parafusos de Champy feitos de Ti e aço inoxidável (INOX) utilizadas em fraturas mandibulares através da amostra de 12 cães fêmeas da raça Beagle, submetidas a fratura de corpo mandibular, divididas em dois grupos iguais, onde um grupo foi tratado com mini placas de Ti e outro com mini placas de aço INOX. Foram utilizadas 2 placas retas de 4 furos em cada animal e usados parafusos de 5 e 11 mm. As mini placas e parafusos foram removidos após o sacrifício dos animais, sendo quatro sacrificados nos períodos de 4, 12 e 24 semanas após inserção do material. As amostras foram avaliadas por MEV, EDX e teste de resistência de Vickers e foram comparadas com placas não utilizadas do grupo controle. O Ti foi o elemento predominante nas mini placas de Ti; ferro (Fe), Cr, Mo e Ni foram os principais elementos identificados nas mini placas de aço INOX. Foram encontrados depósitos de Al, silício (Si), e irregularidades como crateras, fissuras e depressões nas superfícies das mini placas. Estas irregularidades são semelhantes às encontradas na superfície das mini placas do grupo controle, sugerindo que essas falhas podem ser oriundas da fabricação. Danos na superfície dos parafusos devido a manipulação foram observados e não houve evidência de defeitos de corrosão sobre a superfície dos parafusos. Algumas irregularidades foram encontradas na cabeça dos parafusos do grupo controle.

Jorgenson *et al.* (1997) detectaram presença de Ti em tecidos moles nas placas de fixação removidas da região craniofacial avaliadas em uma amostra de 4 pacientes submetidos à remoção de placas de Ti após cirurgia craniofacial de onde

foram removidos tecidos moles em torno das placas. Todas as placas utilizadas foram de 1.0 mm com composição de Ti puro fornecidas por um único fabricante. A média para remoção das placas foi de 24,5 meses. O material foi analisado por MEV, análise de EDX e EAA. A média de idade dos pacientes foi de 41,5 meses. Não foram observados tecidos pigmentados através da macroscopia e microscopia. Infiltração de células inflamatórias no tecido conjuntivo não foram encontradas. Foram observados presença de manganês (Mn) e Cr (ligas comuns em instrumentos cirúrgicos) nos tecidos. Em 1 paciente foi detectado inclusão de metal. Foram observados presença de Ti em tecidos circundantes às placas craniofaciais em 3 pacientes.

Wever *et al.* (1997) avaliaram a segurança biológica a curto prazo da liga de níquel-titânio (NiTi) usada em várias aplicações biomédicas. A amostra era composta por cilindros de NiTi preparados com diâmetro de 10 mm e comprimento de 38 mm submetidos a testes de citotoxicidade, sensibilização e dois testes de genotoxicidade. As ligas de NiTi eram compostas de 50% Ni e 50% Ti. As propriedades de memória das ligas foram ativadas pelo aquecimento das mesmas a 450 °C durante 30 minutos. A liga de aço INOX foi utilizada como referência clínica. Uma mono camada de fibroblastos de pele humana foi examinada microscopicamente em 24, 48 e 72 h para avaliar os efeitos citotóxicos. Foram avaliados quanto a sensibilidade 10 porcos da Índia tratados com o NiTi, 10 com o aço INOX e 10 animais serviram como controles. A exposição a diferentes concentrações de extrato de NiTi não teve nenhum efeito sobre a mono camada celular; os testes de sensibilidade não evidenciaram nenhuma resposta de sensibilidade dérmica, eritema ou edema. Nenhum aumento significativo no número de células com aberrações cromossômicas ou mutações foi observado após exposição ao NiTi.

Matthew & Frame (1998) caracterizaram partículas metálicas liberadas de mini placas e parafusos de Champy em Ti e aço INOX utilizadas em osso frontal. A amostra era composta de 12 cães fêmeas da raça Beagle, onde foram instaladas 2 placas no osso frontal de cada animal. Na metade da amostra foi inserido material de Ti e na outra metade de aço INOX. Os parafusos utilizados foram de 5 mm. Uma mini placa foi adaptada à curvatura do osso frontal, sem causar tensão na placa (placa controle); e a outra, foi deixado um espaço de 3 mm do osso para causar

tensão no material no momento de conformação da placa e da adaptação ao parafuso. As mini placas e parafusos foram removidos após o sacrifício dos animais, sendo dois de cada grupo sacrificados nos períodos de 4, 12 e 24 semanas após inserção do material. As amostras foram avaliadas MEV e EDX. Nos tecidos que recobriam as mini placas e parafusos de Ti e aço INOX foram observados nos períodos de 12 e 24 semanas de pós-operatório tecido pigmentado cinza, sendo mais nos tecidos que recobriam os parafusos. Em todas as fases analisadas, fragmentos de metal foram identificados em menor quantidade no interior dos tecidos moles e osso que circundam as mini placas e parafusos. Não houve prevalência de detritos de aço INOX ou Ti nos tecidos adjacentes às placas e parafusos. Não foram observadas diferenças físicas em nenhuma das partículas utilizadas submetidas ou não ao estresse.

Wever *et al.* (1998) investigaram as propriedades de corrosão e as características da superfície da liga de NiTi. A amostra consistiu de ligas de NiTi composta por 50% Ni e 50% Ti. As propriedades de memória das ligas foram ativadas pelo aquecimento das mesmas a 450 ° C durante 30 minutos. Foram preparados pequenos discos com um diâmetro de 8 mm e comprimento de 5 mm. Os cilindros com um diâmetro de 8 mm e comprimento de 40 mm foram preparados para o estudo de libertação de Ni. A amostra foi comparada com materiais de referência de ligas de aço INOX com teor de Ni de 13-15% e a liga Ti6Al4V. As ligas passaram por testes potenciodinâmicos em solução fisiológica de Hanks. Espectroscopia fotoeletrônica de raios-x (EFX) foi realizada nas amostras de NiTi e Ti6Al4V antes e depois de 1, 3, e 17 dias de imersão em solução de Hanks. A superfície das amostras de NiTi antes e após 17 dias de imersão em solução de Hanks foi examinada num microscópio electrónico de varredura. Para determinar a taxa de libertação de Ni, a concentração média de Ni em cinco amostras foi determinada após 1, 2, 3, 7, 10, 17 e 31 dias. Após a imersão em solução Hanks o crescimento de uma camada de fosfato de Ca foi observada e todas as amostras exibiram um comportamento passivo. As amostras de NiTi foram mais resistentes à degradação química. As superfícies das ligas de NiTi e Ti6Al4V mostraram elevadas percentagens atômicas de Ti, O e carbono (C), e apenas pequenas percentagens de Ni foram detectadas na superfície das amostras de NiTi. As ligas de Ti6Al4V apresentaram maior resistência a corrosão.

Ray *et al.* (1999) analisaram a incidência e a distribuição de fragmentos de metal na superfície de mini placas e parafusos produzidos durante sua fabricação. Foram utilizadas 15 mini placas, sendo 5 de aço INOX e 10 de Ti e 60 parafusos de 7 mm, onde 20 eram de aço INOX, 20 de Ti com projeção cruzada na cabeça e 20 de liga de Ti com projeto da cabeça Centre-drive®. Todos os materiais adquiridos do distribuidor Albert Waeschle. Foram examinados por inspeção visual, estereomicroscopia e MEV. As placas foram examinadas nas superfícies laterais, superior e inferior, e nos furos dos parafusos; e os parafusos foram examinados na rosca e na cabeça. Foram detectados alguns defeitos de acabamentos na inspeção visual das placas e parafusos. Nas superfícies planas das mini placas haviam marcas de fragmentos de metal levantadas e aderentes. Em mais da metade da amostra arestas metálicas e protuberâncias (rebarbas) estiveram presentes em torno da circunferência de vários furos de parafuso, particularmente para a borda superior e inferior do furo, vistas em maior quantidade nas placas de Ti. Foram detectados fragmentos de metal em forma de ranhuras em torno das roscas e dentro do orifício cruciforme nas cabeças dos parafusos de Ti e aço INOX. Nos parafusos com a cabeça Centre-drive® foram encontradas menor quantidade de rebarbas metálicas e nos de Ti puro a maior quantidade.

Acero *et al.* (1999) estudaram o comportamento do Ti como material de osteossíntese após fraturas faciais ou osteotomias. Foram examinadas 37 mini placas de Ti comercialmente puro (Ti-CP) removidas de 23 pacientes submetidos a cirurgia em face. A idade média dos pacientes foi de 31,89 anos. A mandíbula foi afetada em 59,5% dos casos e a maxila 40,5%. Da amostra total, 25 mini placas foram removidas de pacientes do sexo masculino e 12 do sexo feminino. Foram removidas 15 mini placas devido a complicações clínicas removidas no período entre 4 e 160 semanas após a cirurgia. O grupo controle incluiu 22 mini placas, que foram removidas 3 meses após a cirurgia de pacientes que não apresentavam qualquer complicação. As amostras de placas foram avaliadas através de MEV. Foram realizadas biópsias de tecido ósseo removidos de parafusos em 22 casos, e em 20 casos, foram realizadas avaliações histológicas por microscopia óptica das amostra de tecido mole adjacente às placas. As complicações clínicas observadas foram: exposição intra-oral do material em 9 casos; dor em 4 casos; sinais inflamatórios locais em 1 caso e exposição nasal em 1 caso. Em 91,7% das fraturas

ocorreu cicatrização óssea satisfatória. A fixação das placas e parafusos foi deficiente em 18 casos, com mobilidade parcial dos parafusos em 12 casos, mobilidade completa da placa em 6 casos. Na análise microscópica foi observada contaminação na superfície das placas em 100% das placas removidas por exposição oral. Algumas mini placas e parafusos removidos apresentaram defeitos ou irregularidades na superfície (35,1%).

Matthew & Frame (2000) compararam a liberação de metais nos tecidos adjacentes de placas e parafusos de aço INOX e Ti, e determinar sua relação com a tensão produzida no momento da inserção do material. O estudo envolveu 12 cães fêmeas adultas da raça Beagle, onde foram instaladas 2 placas retas de 4 furos com parafusos de 5 mm na abóboda craniana de cada animal; na metade da amostra foi inserido material de Ti e a outra metade de aço INOX. Uma mini placa foi adaptada à curvatura do osso frontal, sem causar tensão na placa (placa controle), e a outra, foi deixado um espaço de 3 mm de distância do osso para causar tensão no material no momento de conformação da placa e da adaptação ao parafuso. As mini placas e parafusos foram removidos após o sacrifício dos animais, sendo dois de cada grupo sacrificados nos períodos de 4, 12 e 24 semanas após inserção do material. As amostras foram avaliadas por MEV e EDX. A análise qualitativa de pigmentação nos tecidos moles adjacentes às mini placas e parafusos de toda amostra apresentaram ligeira ou nenhuma pigmentação metálica. Houve diferença significativa entre as concentrações de Fe, Cr e Ni em cada intervalo de tempo após a cirurgia e de Cr em tecido mole e osso. Não foram significativos os valores dos níveis de metais encontrados nos tecidos adjacentes as amostras submetidas ou não à tensão do material.

Trivellato *et al.* (2000) compararam quatro sistemas de placas e parafusos de Ti utilizados para fixação interna rígida em face. Foram utilizadas 40 placas de conformação reta indicadas para terço médio da face e 40 parafusos do sistema 2.0 mm das marcas Bucomax[®], Engimplan[®], W.Lorenz[®] e Synthes[®]. A análise química foi realizada por espectrometria por dispersão de energia (EDS) em uma placa e um parafuso de cada sistema e por espectrometria por emissão atômica (AES) em duas placas e dois parafusos de cada sistema. Para a análise macroscópica, foram realizadas mensurações em dez placas e dez parafusos de cada marca comercial através do uso de um paquímetro digital. Os testes de flexão foram realizados em

sete placas e sete parafusos de cada sistema. As placas e parafusos eram compostas de Ti-CP, exceto os parafusos da W.Lorenz®, constituídos de Ti6Al4V, caracterizando melhor resultado dos mesmos para o teste de flexão. Em relação às dimensões das placas e parafusos, as marcas nacionais apresentaram resultados inferiores quando comparadas às marcas internacionais, influenciando desta forma, os resultados dos testes de flexão, apresentando resultados inferiores para as marcas nacionais. Foi observada melhor resistência à flexão das placas e parafusos das marcas importadas, no entanto, não houve vantagem entre as placas das duas marcas importadas e das duas nacionais. Nos parafusos houve vantagem da marca W.Lorenz® e sem diferença entre as nacionais.

Jonas *et al.* (2001) determinaram a natureza e a quantidade de depósitos de Ti no tecido em torno das mini placas usadas em fraturas de mandíbula. A amostra era composta por 10 pacientes do sexo masculino e 2 do sexo feminino que foram submetidos a procedimento cirúrgico para osteossíntese de fratura mandibular com mini placas e parafusos de Ti. Foram coletadas amostras de tecidos circundante às placas (músculo, tecido conjuntivo, tecido cicatricial). As placas foram removidas entre 6 e 12 meses de sua instalação e foram avaliadas através de MEV em combinação com EDX para identificação das partículas de Ti. A perda de metal no tecido circundante foi baixa; em 2 casos ocorreu perda de metal na mucosa que recobre o material que foi visível após 12 meses de sua implantação. Os outros 10 casos não apresentaram macroscopicamente acumulação visível de estilhaços metálicos ou escurecimento da mucosa em torno do material. Comparando a superfície das placas foi observado que uma nova placa de Ti é relativamente mais lisa, em comparação com uma placa 6 meses após sua instalação. As placas usadas mostraram fragmentos de tecido e traços de manipulações causados por instrumentais durante o procedimento. A composição elementar através da análise de EDX revelou sinal forte para o Ti.

No trabalho de Langford & Frame (2002a) os tecidos moles adjacentes às mini placas e parafusos de Ti retiradas da região maxilo-facial foram avaliados histomorfologicamente. Uma amostra composta de 31 pacientes, sendo 25 do sexo masculino e 6 do sexo feminino, com uma faixa etária de 13 a 74 anos de idade. Foram retiradas 35 placas e parafusos e tecidos moles adjacentes. As placas permaneceram no local por um período entre 1 mês e 13 anos, onde 27 foram

removidas da mandíbula e 8 da maxila. As placas e parafusos eram de Ti, das marcas comerciais Stryker® ou Martin®, e os parafusos apresentavam diâmetro de 2.0 mm. As indicações para inserção do material foram: trauma em face em 22 dos pacientes; cirurgia ortognática em 6 pacientes; e outros procedimentos em 3 pacientes. As indicações para remoção do material foram: infecção em 18 pacientes da amostra; procedimentos eletivos secundários em 12 pacientes; e dor ou placa palpável sob a pele ou mucosa oral em 5 pacientes. Todas as amostras de tecidos moles foram examinadas sob o microscópio eletrônico de varredura e de transmissão. Para confirmar a composição elementar das partículas das amostras foi usada análise de EDX. Em 18 pacientes da amostra, a infecção foi diretamente atribuível à placa ou aos parafusos e em 13 deles, tanto as placas quanto os parafusos estavam soltos; nas outras duas categorias de indicação para remoção, em 15 dos 17 pacientes as placas e parafusos eram firmes. Em todos os casos observou-se que as placas foram cobertas por tecido fibroso denso e 5 destas placas foram parcialmente cobertas com osso. Macroscopicamente a pigmentação composta de Ti foi visível nos tecidos moles adjacentes de 11 das 35 placas. Em 12 amostras, áreas de inflamação e tecido de granulação foram identificadas. Grandes quantidades de detritos microscópicos foram observadas em 19 amostras, mas sem pigmentação macroscópica visível.

Langford & Frame (2002b) avaliaram aparências superficiais e composição elementar de placas e parafusos de Ti usados em cirurgias maxilo-faciais. Participaram do estudo 39 pacientes com idade entre 13 e 74 anos, sendo 31 do sexo masculino e 8 do sexo feminino. Foram removidas 50 placas e parafusos durante um período de 13 meses. As placas recuperadas foram de 3 sistemas diferentes e foram selecionadas 18 placas e 10 parafusos dos mesmos sistemas para o grupo controle. Das 50 placas da amostra, 34 foram removidas da mandíbula, 13 da maxila e as demais da região zigomático-orbital. A causa para remoção das placas foram: infecção ou deiscência em 35 casos, e em 15 casos foram removidas em um segundo procedimento cirúrgico eletivo na mesma região. As placas e parafusos foram examinados para evidência de defeitos de fábrica, danos cirúrgicos e corrosão usando lupa estereoscópica de baixa potência, MEV de alta potência e EDX. Sinais de danos cirúrgicos foram identificados em todas as placas e parafusos; a composição das placas e parafusos foi a partir de Ti-CP. Dois acabamentos

superficiais foram identificados: anodizados e não-anodizados. A avaliação por MEV nas placas simples, mostrou uma superfície caracterizada por defeitos na superfície que representam as folhas de Ti na fabricação e foram observados ranhuras superficiais, causados por uma laminagem ou processo de polimento. Macroscopicamente e microscopicamente não foi evidenciado processo de corrosão nas placas e parafusos analisados independente do acabamento da superfície. Nas placas com acabamento anodizado a superfície observada foi mais lisa. No grupo controle, 6 placas apresentaram acabamento anodizado na superfície. Foram encontrados defeitos de fabricação em 4 das 18 placas, e 2 dos 10 parafusos; estes defeitos compreendem bordas ásperas e protuberâncias de metal que foram localizadas sobre as cabeças dos parafusos e ao redor da borda dos orifícios dos parafusos. Foram encontrados contaminantes de Al e Si nas placas e parafusos em toda amostra, sendo menor nas placas anodizadas.

Firstov *et al.* (2002) determinaram as condições de oxidação para implantes médicos feitos de liga de NiTi. O material avaliado era composto por liga de NiTi com dimensões de 1,5 x 1,5 x 5 mm³, submetida a tratamento térmico em temperatura de 300°C a 800°C e caracterizada por MEV, difração de raios-x, EFX e espectroscopia Raman. Medições de termogravimetria foram realizadas para investigar a cinética da oxidação do material. Foi observado comportamento diferenciado da oxidação das ligas de NiTi para temperaturas abaixo e acima de 500°C. A oxidação em 300°C resultou no aparecimento de uma composição de Ni 0.46 O 0.23 Ti 0.31. A superfície das amostras oxidadas a 400°C e 500°C foi semelhante. E a oxidação após 600°C foi muito diferente apresentando principalmente Ti e O, mas também uma pequena quantidade de Ni.

Kosaka *et al.* (2003) estudaram o processo de fratura de placas e parafusos analisando imagens feitas por MEV. A amostra era composta de 100 pacientes com média de idade de 31,9 anos, tratados com placas e parafusos biodegradáveis no complexo crânio-maxilo-facial. Da amostra total, 73 eram do sexo masculino e 27 do sexo feminino e o motivo para instalação do material foi por fratura óssea em face em 85% da amostra e os locais mais acometidos foram o osso zigomático e a mandíbula. Foram utilizadas um total de 190 placas e 758 parafusos sendo 85 casos tratados com material do sistema Fixsorb-MX® e 15 casos com material do sistema Neofix®. Em 6 meses de pós-operatório, ficou evidenciado

fratura do material em 2 casos (caso 1 e caso 2), confirmada por sintomas clínicos, radiografias convencionais e tomografia computadorizada. As placas e parafusos foram removidas e foi realizada avaliação por meio de MEV. No caso 1, paciente 18 anos, sexo feminino, com fratura mandibular por acidente de trânsito foi tratada com 1 placa de 6 furos com conformação reta de 1.5 mm de espessura e 34 mm de comprimento, e 6 parafusos de 2.0 mm de diâmetro e 8 mm de comprimento, do sistema Fixsorb-MX® e aplicação de barra nas arcadas. A fratura do material resultou do reflexo dos movimentos de mastigação involuntários e repetitivos que ocorreram nas 2 primeiras semanas de pós-operatório com consequente deslocamento ósseo e má-oclusão, confirmados com exames de imagem. Foram observadas por meio de MEV o local da fratura nas placas, e nos parafusos, numerosas fissuras circulares. No caso 2, paciente 27 anos, sexo feminino, submetida a mentoplastia com enxerto onlay retirado de ângulo mandibular, fixado com 2 placas de 4 furos com conformação reta de 1.5 mm de espessura e 22 mm de comprimento, e 6 parafusos de 2.0 mm de diâmetro e 8 mm de comprimento, do sistema Fixsorb-MX. Com 23 dias de pós-operatório 1 parafuso fraturado foi exposto intra-oral. Foram observadas por meio de MEV, as roscas do parafuso onduladas.

No estudo de Assis *et al.* (2005) a resistência de corrosão in-vitro do aço INOX de superferrítico numa solução fisiológica artificial para verificar seu potencial para utilização como biomaterial foi estudada. A amostra era composta de ligas de aço INOX superferrítico, aço INOX austenítico e Ti imersas na solução de Hank a 37 °C. O comportamento de corrosão in vitro do aço INOX superferrítico foi determinado com a utilização de técnicas eletroquímicas, e a sua citotoxicidade também foi avaliada. O exame da superfície foi realizado por MEV. O método de polarização potenciodinâmica e testes de espectroscopia de impedância eletroquímica foram usados para determinar a resistência à corrosão das ligas. O teste de citotoxicidade com base na metodologia de difusão em ágar não indicou efeitos tóxicos para o aço superferrítico e em nenhuma das outras amostras. As ligas de aço superferrítico e de Ti apresentaram elevada resistência à corrosão.

Theologie-Lygidakis *et al.* (2007) determinaram possíveis correlações entre as alterações morfológicas e químicas de placas de Ti retiradas da região maxilo-facial e tecidos moles adjacentes através da amostra composta de 44 pacientes. A idade média dos pacientes foi de 20,6 anos, sendo 23 do sexo

masculino e 21 do sexo feminino, que tinham sofrido osteossíntese para reparação de fratura na região maxilo-facial (26 casos), cirurgia ortognática (12 casos), ou para cirurgia reconstrutiva com enxertia óssea (6 casos). Foram recuperadas 94 placas de Ti-CP após uma média de 7,4 meses da instalação, das quais 60 foram estudadas e avaliadas junto aos parafusos e tecidos moles adjacentes. As placas eram de um mesmo sistema de fixação Martin®. Os critérios para inclusão foram: pacientes jovens e saudáveis; assintomáticos; placas retiradas rotineiramente após a consolidação óssea; e presença de tecidos moles adjacentes à placa com aparência hiperplásica, pigmentada ou inflamada. Foram excluídas do estudo 34 placas onde macroscopicamente o tecido mole adjacente estava saudável. Foram usados para analisar o material recuperado, métodos laboratoriais especializados, incluindo microscopia óptica e eletrônica, bem como EDX. Macroscopicamente foram evidentes arranhões, raspagem e deformações em todas as placas recuperadas, sem evidência de corrosão; inflamação local leve assintomática em 17% dos casos; pigmentação do tecido em 25% dos casos e parafusos soltos com tecido conjuntivo em torno deles 42% dos casos. Foram observados deformação do metal, no contorno dos orifícios dos parafusos em 65% das placas. Foram observados restos orgânicos, presença de nitrogênio (N), estrôncio (Sr), fósforo (P), magnésio (Mg), O, S, Fe, C e Ca; Si e Al também foram detectados, contaminantes do tecido. Houve inflamação crônica tecidual em 53% dos casos e depósitos pigmentados foram detectados em 68%.

Dugal & Dadhe (2009) verificaram a presença de alterações patológicas ou liberação de metal nos tecidos moles ao redor de placas de aço INOX utilizadas em fraturas faciais. Através da amostra composta de 10 pacientes submetidos a fixação interna para tratamento de lesões faciais, sendo dividida em dois grupos: grupo I, com 5 pacientes com sintomas relacionados à presença das placas e grupo II, com 5 pacientes assintomáticos. Foram incluídos pacientes que relataram alterações teciduais relacionadas ao material e pacientes assintomáticos que queriam remover o material. Não houve distinção de sexo ou idade. As placas foram removidas sendo coletada uma amostra tecidual ao redor das mesmas para avaliação histopatológica quanto à resposta tecidual e microscopia para verificar liberação de metal. Os pacientes foram acompanhados por 10 dias de pós-operatório. As amostras foram examinadas através de estudo microscópico de luz e

elétrons transmitidos. O período mínimo para remoção das placas era de quatro meses após sua instalação, sendo a média de 5,6 meses para grupo I e 11 meses para grupo II; foram observadas alterações inflamatórias crônicas na amostra do grupo I com inflamação da mucosa, infecção e fistula na maioria dos pacientes deste grupo. Estabilidade da fratura foi satisfatória (100%) em todos os casos e em toda a amostra não foram evidenciadas partículas de metal.

Goelzer *et al.* (2010) compararam parafusos auto-perfurantes e auto-rosqueáveis com relação ao contato ósseo e à produção de detritos de osso através da MEV. A amostra era composta por 3 calvárias de coelhos da raça Nova Zelândia. Na região occipital foi inserida uma placa de 4 furos do sistema 20 mm com 6 parafusos de 5 mm e na região frontal uma placa de 4 furos do sistema 1.5 mm com 8 parafusos de 5 mm. Todos os materiais inseridos eram de Ti puro do sistema NeoFace®; NeoOrtho®. Os 2 parafusos instalados do lado direito foram auto-perfurantes e os 2 parafusos instalados do lado esquerdo foram auto-rosqueáveis; os primeiros parafusos inseridos foram os 2 parafusos centrais, inseridos com abundante irrigação com solução salina e os 2 parafusos das extremidades foram inseridos sem irrigação salina. Foram feitas avaliações quanto à capacidade de os parafusos expelirem detritos de osso durante a inserção, dano potencial para a cabeça do parafuso durante sua inserção, e a interface mini placas e parafusos. Não houve danos aos parafusos após sua inserção. No corpo dos parafusos auto-perfurantes houve uma concentração de detritos de osso em torno dos mesmos, quando foram inseridos tanto com irrigação de solução salina quanto sem irrigação. No parafuso auto-rosqueável de 2.0 mm houve um pequeno espaço entre o parafuso e o osso quando inserido com irrigação salina e detritos de osso foram formados no orifício feito pela broca sem uso de irrigação salina.

Dugal & Thakur (2010) examinaram a superfície de mini placas de aço INOX usadas em fraturas faciais onde 10 placas removidas de pacientes submetidos a fixação interna para tratamento de fraturas de face, sendo dividida em grupo I, com 5 pacientes sintomáticos e grupo II com 5 pacientes assintomáticos. Dos 15 pacientes, 5 foram excluídos da amostra após dificuldade na remoção do material de fixação interna, o que poderia danificar ainda mais as placas com a manipulação cirúrgica. Foram incluídos pacientes que relataram alterações teciduais relacionadas ao material e pacientes assintomáticos que queriam remover o material. Não houve

distinção de sexo ou idade. O material foi avaliado quanto sua composição, liberação de metal, reação tecidual e defeitos por instrumentação. Os pacientes foram acompanhados por 10 dias de pós-operatório. As amostras foram analisadas através de MEV e EDX para a composição de placas e de liberação de metal a partir das placas. O período mínimo para remoção das placas era de 3 meses após fixação do material, variando na amostra entre 4 a 12 meses para o grupo I e 6 a 12 meses para o grupo II. Foram observadas inflamação da mucosa, infecção e fístulas em todos os pacientes do grupo I e inflamação dos tecidos moles em contato com as placas de 20 a 60% da amostra de ambos os grupos. Os resultados da microscopia mostraram superfície áspera, rugosidades, defeitos de corrosão e evidências de defeitos de natureza mecânica em todas as placas examinadas, bem como lascas e linguetas metálicas associadas a região de inserção dos parafusos. Na composição das placas, o percentual atômico maior foi de Fe, observado em maior quantidade no grupo I.

No estudo conduzido por de Medeiros *et al.* (2014) foram analisadas placas de fixação interna de 2.0 mm de dois sistemas diferentes usados em fraturas de mandíbula submetidos a testes de carga axial linear. A amostra era composta de 4 hemi-mandíbulas fabricadas de Al com corte linear para simular uma fratura do corpo mandibular na região de pré-molar e primeiro molar, fixadas com placas e parafusos do sistema de fixação interna de 2.0 mm de duas marcas nacionais: Tóride® e Traumec®. A amostra foi dividida em 2 grupos: grupo I, composta de 2 hemi-mandíbulas, fixadas em cada amostra, 1 placa de 4 furos, com 4 parafusos de 6 mm na zona de tensão; 1 placa de 4 furos, com 4 parafusos de 10 mm na zona de compressão; e grupo II: composta de 2 hemi-mandíbulas, fixadas em cada amostra, 1 placa de 4 furos, com 4 parafusos de 6 mm na zona neutra. As placas foram feitas de Ti-CP, e os parafusos eram de uma liga de Ti-6Al-4V. As hemi-mandíbulas foram submetidas a testes de carga lineares verticais, e as placas a análise topográfica da superfície. Todas as placas foram fraturadas durante os testes. No grupo I, em 3 amostras, as placas na zona de tensão e compressão fraturaram na parte superior do orifício à direita da linha de fratura; nas demais, as placas na zona de tensão também fraturaram na parte superior do orifício à direita da linha de fratura. No grupo II, as cinco placas foram fraturadas na parte superior do orifício à direita da linha de fratura. As placas apresentaram uma superfície ofuscante e acinzentada,

com evidências de intensa deformação plástica e reentrâncias. Todas as fraturas da amostra ocorreram devido a sobrecarga e ocorreram no sentido centro para as extremidades, e não foram observadas anormalidades quanto ao tipo de fratura em relação ao material e a sua estrutura.

Pinto *et al.* (2015) investigaram a estrutura microscópica e a composição química de placas e parafusos de Ti retirados de pacientes submetidos a cirurgias na face. A amostra era composta de 30 pacientes de onde foram retiradas 48 placas e 238 parafusos, sendo que em dois pacientes somente os parafusos foram removidos. O material de fixação interna foi retirado devido indicações clínicas de infecção, exposição do material, afrouxamento do parafuso, dor, palpabilidade ou necessidade de procedimentos secundários. A avaliação das placas e parafusos foi realizada por metalografia com uso de microscópio óptico, gás e análise de EDX para confirmar a composição química das amostras. Uma placa e alguns parafusos de Ti não utilizados e que não tinham sido obtidos de pacientes foram analisados por metalografia, gás, e EDX como grupo controle. Para avaliar os fatores clínicos associados às placas e parafusos removidos, uma análise descritiva foi realizada dos dados recolhidos a partir dos registros médicos quanto à idade, sexo, tipo de procedimento cirúrgico que levou a placa e inserção do parafuso, o tempo entre a inserção e remoção dos mesmos, indicação da remoção, local da remoção, e a condição médica geral. A maioria dos pacientes eram do sexo masculino, com idade média de 34,7 anos. O período entre a inserção e remoção da placa variou de 11 dias a 10 anos. Quanto ao procedimento cirúrgico, 18 casos foram de pacientes submetidos a redução de fratura mandibular, 8 para cirurgia ortognática, e 4 para cirurgia reconstrutiva por lesões em face. A indicação para remoção das placas e parafusos foi por infecção em 13 casos, dor em 4 casos, segundo procedimento cirúrgico em 11 casos, parafuso solto em 1 caso e deiscência e exposição intra-oral do material em 1 caso. A análise metalográfica revelou que todas as placas e 4 parafusos foram fabricados a partir de Ti-CP e os demais parafusos da amostra por liga de Ti-6Al-4V. Na análise dos gases, 1 placa e 4 parafusos apresentaram valores de oxigênio (O) elevados. As placas e parafusos apresentaram uma aparência uniforme microscopicamente, indicando que as propriedades físicas e composições químicas das mesmas não estão associadas com a necessidade de remoção destes materiais. Os materiais retirados dos pacientes e analisados por EDX apresentaram

quantidade maior que 99,7% de Ti em massa; e para o grupo controle o resultado apresentou composição de Ti 99,97% e Fe 0,03% em massa.

Anitua *et al.* (2015) analisaram *in vitro* e *in vivo* a morfologia e a composição de superfícies de implantes de Ti modificados com íons de Ca. A amostra era composta de 37 implantes BTI® Interna® (4 mm de diâmetro e 8,5 mm de altura), 35 discos (12,7 mm de diâmetro e 1 mm de altura) e 70 discos (6 mm de diâmetro e 1 mm de altura), fabricados em Ti-CP. A amostra *in vitro* foi avaliada através da cultura de células semelhantes a osteoblastos, e *in vivo*, por meio de instalação do implante na diáfise da tíbia de 2 ovelhas. Foram colocados 16 implantes foram monocorticais na face medial da diáfise da tíbia, sendo 4 em cada perna e oito implantes por tipo de superfície. A morfologia das superfícies dos implantes foi observada através do MEV. Os depósitos de osteoblastos observados em forma de adesão celular nas superfícies modificadas com Ca, foi significativamente maior do que nas superfícies não modificadas.

Little *et al.* (2015) determinaram as taxas de remoção de placas utilizadas em cirurgia ortognática e suas razões através da amostra de 202 pacientes submetidos a cirurgia ortognática entre julho de 2004 e julho de 2012 no Hospital Universitário James Cook, Reino Unido. Os critérios de inclusão foram: pacientes submetidos a osteotomia Le Fort I, sagital bilateral ou uma combinação de ambas. Todas as placas de fixação utilizadas foram fabricadas por Stryker Liebhinger® ou De Puy Synthes®, sendo 4 placas utilizadas em maxila e 2 em mandíbula. Os dados coletados foram: idade, sexo e local da cirurgia (maxila, mandíbula ou combinada). Os pacientes avaliados foram os que retornaram no período de julho de 2004 a novembro de 2012 para a remoção das placas. Foram coletados: idade, sexo, uso de tabaco, data de retorno, número de placas removidas e a razão da remoção. Da amostra, 129 pacientes eram do sexo feminino e 73 do sexo masculino. A média de idade na data da cirurgia inicial foi de 20,8 anos. Foram realizados 96 procedimentos bimaxilares, 73 apenas osteotomia sagital bilateral e 33 apenas osteotomia Le Fort I. Foram colocadas 854 placas das quais 516 foram na maxila e 338 na mandíbula. Da amostra total, 21 pacientes solicitaram a retirada da placa, sendo 15 do sexo feminino e 6 do sexo masculino; 5 pacientes fumantes e 16 não-fumantes e a média de idade no momento da retirada da placa foi de 21,5 anos. Dos 21 pacientes, 17 pacientes necessitaram da retirada da placa mandibular e 4 da maxila. Foram

removidas 27 placas. As razões para a remoção das placas foram: exposição da placa, infecção, infecção combinada com exposição do material, infecção combinada com placa palpável, dor ou irritação sem evidência de infecção ou exposição, parafuso palpável, parafuso associado à patologia dental, sinusite recorrente e edema inexplicável.

Mendes *et al.* (2016) avaliaram *in vitro* as propriedades mecânicas e microestruturais de sistemas de fixação internos utilizados em cirurgias buco-maxilo-faciais utilizando uma amostra composta de placas e parafusos de Ti de quatro marcas comerciais. Foram selecionados 3 parafusos do sistema de 2.0 mm e 3 placas retas de 4 furos para cada marca. Os materiais foram divididos em quatro grupos: G1 Leibinger®, G2 Tóride®, G3 Engimplan® e G4 Medartis®. Foi selecionado um segmento de furo de cada placa e 1 parafuso de cada grupo para análise de composição química dos elementos intersticiais. A análise metalográfica das amostras foi realizada em 3 pontos nas placas e 2 pontos nos parafusos. Amostra de todos os grupos foram submetidos a teste de resistência. Foram observados diferentes tamanhos de grãos entre as placas feitas de Ti grau 2, sendo o valor de 30 µm para as placas dos grupos 1, 2 e 3, e de 60 µm no grupo 4 e os parafusos foram fabricados em Ti grau 5 (Ti-6Al-4V). As placas dos grupos 1, 2 e 3 apresentaram maior resistência do que as do grupo 4; nos parafusos não foram observadas diferenças. Os valores relativos à composição química das placas e parafusos de todos os grupos foram dentro das especificações padronizadas para aplicações de materiais cirúrgicos.



2.1 REFERÊNCIAS DA REVISÃO DE LITERATURA

2.1 REFERÊNCIAS DA REVISÃO DE LITERATURA

- ACERO, J. et al. The behaviour of titanium as a biomaterial: microscopy study of plates and surrounding tissues in facial osteosynthesis. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 27, n. 2, p. 117-23, Apr. 1999.
- ANITUA, E. et al. Effects of calcium ions on titanium surfaces for bone regeneration. **Colloids Surf B Biointerfaces**, v. 1, n. 130, p. 173-81, Jun. 2015.
- ASSIS, SL. et al. A comparative study of the in vitro corrosion behavior and cytotoxicity of a superferritic stainless steel, a Ti-13Nb-13Zr alloy, and an austenitic stainless steel in Hank's solution. **J Biomed Mater Res B Appl Biomater.**, v. 73, n. 1, p. 109-16, Apr. 2005.
- BESSHO, K.; FUJIMURA, K.; IIZUKA, T. Experimental long-term study of titanium ions eluted from pure titanium miniplates. **J Biomed Mater Res.**, v. 29, n. 7, p. 901-4, Jul. 1995.
- DE MEDEIROS, R. C. Et al. Fractographic analysis of 2.0-mm plates with a screw locking system in simulated fractures of the mandibular body. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 72, n. 6, p. 1130-7, Jun. 2014.
- DUGAL, A.; DADHE, D. P. Evaluation of metal release and local tissue response to indigenous stainless steel miniplates used in facial fractures. **J Maxillofac Oral Surg.**, v. 8, n. 4, p. 344-7, Dec. 2009.
- DUGAL, A.; THAKUR, G. Surface analysis of indigenous stainless steel miniplates used in facial fractures. **J Maxillofac Oral Surg.**, v. 9, n. 4, p. 403-6, Dec. 2010.
- FIRSTOV, G. S. et al. Surface oxidation of NiTi shape memory alloy. **Biomaterials**, v. 23, n. 24, p. 4863-71, Dec. 2002.
- GOELZER, J. G. et al. Self-drilling and self-tapping screws: an ultrastructural study. **J Craniofac Surg.**, v. 21, n. 2, p. 513-5, Mar. 2010.
- JONAS, L. et al. Biodegradation of titanium implants after long-time insertion used for the treatment of fractured upper and lower jaws through osteosynthesis: element analysis by electron microscopy and EDX or EELS. **Ultrastruct Pathol.**, v. 25, n. 5, p. 375-83, Sep./Oct. 2001.
- JORGENSON, D. S. et al. Detection of titanium in human tissues after craniofacial surgery. **Plast Reconstr Surg.**, v. 99, n. 4, p. 976-9, Apr. 1997.
- KOSAKA, M. et al. Scanning electron microscopic observations of 'fractured' biodegradable plates and screws. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 31, n. 1, p. 10-4, Feb. 2003.
- LANGFORD, R. J.; FRAME, J. W. Tissue changes adjacent to titanium plates in patients. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 30, n. 2, p. 103-7, Apr. 2002a.
- LANGFORD, R. J.; FRAME, J. W. Surface analysis of titanium maxillofacial plates and screws retrieved from patients. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 31, n. 5, p. 511-8,

Oct. 2002b.

LITTLE, M. et al. Plate removal following orthognathic surgery. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 43, n. 9, p. 1705-9, Nov. 2015.

MATTHEW, I. R. et al. In vivo surface analysis of titanium and stainless steel miniplates and screws. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 25, n. 6, p. 463-8, Dec. 1996.

MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Ultrastructural analysis of metal particles released from stainless steel and titanium miniplate components in an animal model. **J Oral Maxillofac Surg.**, v. 56, n. 1, p. 45-50, Jan. 1998.

MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Release of metal in vivo from stressed and nonstressed maxillofacial fracture plates and screws. **Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.**, v. 90, n. 1, p. 33-8, Jul. 2000.

MENDES, M. B. et al. Mechanical and microstructural properties of fixation systems used in oral and maxillofacial surgery. **Oral Maxillofac Surg.**, v. 20, n. 1, p. 85-90, Mar. 2016.

MOBERG, L. E.; NORDENRAM, A.; KJELLMAN, O. Metal release from plates used in jaw fracture treatment. A pilot study. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v.18, n. 5, p. 311-4, Oct. 1989.

PINTO, C. M.; ASPRINO, L.; DE MORAES, M. Chemical and structural analyses of titanium plates retrieved from patients. **Int J Oral Maxillofac Surg.**, v. 44, n. 8, p. 1005-9, Aug. 2015.

RAY, M. S.; MATTHEW, I. R.; FRAME, J. W. Metallic fragments on the surface of miniplates and screws before insertion. **Br J Oral Maxillofac Surg.**, v. 37, n. 1, p. 14-8, Feb. 1998.

THEOLOGIE-LYGIDAKIS, N. et al. A retrieval study on morphological and chemical changes of titanium osteosynthesis plates and adjacent tissues. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 35, n. 3, p. 168-76, Apr. 2007.

TRIVELLATO, A. E. et al. Estudo químico, macroscópico e da resistência à flexão de placas e parafusos de titânio usados na fixação interna rígida. **Pesqui Odontol Bras.**, v. 14, n. 4, p. 392-398, out./dez. 2000.

TUNCER, N. et al. A biomechanical comparison between original and used titanium miniplates. **J Craniomaxillofac Surg.**, v. 24, n. 1, p. 58-61, Feb. 1996.

WEVER, D. J. et al. Cytotoxic, allergic and genotoxic activity of a nickel-titanium alloy. **Biomaterials**, v. 18, n. 16, p. 1115-20. Aug. 1997.

WEVER, D. J. et al. Electrochemical and surface characterization of a nickel-titanium alloy. **Biomaterials**, v. 19, n. 7-9, p. 761-9, Apr./May. 1998.